ISSN 0376—477X

中華農業研究

第四十六卷　　第三期

目　次

栽培稻與野生稻之雜交第一代胚培養
……羅淑芳　陳一心　李成章　蔡新聲…207
酸雨對水稻生長與產量之影響
㈠人工模擬酸雨組成份及酸鹼值之
差別效應（英文）……楊純明…216
多年生大芻草與玉米雜交後裔之分蘗性
及地上部鮮重之研究……謝光照　何千里　盧煌勝…228
一年生大芻草與玉米雜交後裔之分蘗性
及地上部鮮重之研究……謝光照　何千里　盧煌勝…241
山藥台農二號之生產促進……劉新裕　張同吳　王昭明　徐原田　胡敏夫…249
水芋葉面積指數動態的季節性變異……陳烈夫　呂椿棠　呂秀英…262
甜楊桃果實外銷適性之研究……王子慶　謝慶昌　林德勝…278
梅子大小分級機構之設計分析……楊智凱　劉昆揚…294

中華民國八十六年九月
臺灣省農業試驗所出版
中華民國 臺灣省 臺中縣 霧峰鄉

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(3)：207～215（1997）

栽培稻與野生稻之雜交第一代胚培養[1]

羅淑芳　陳一心[2]　李成章[3]　蔡新聲[4]

摘要：在許多秈、稉稻與野生稻之雜交試驗中，稉稻臺農67號（TNG67）×野生稻（*O.officinalis* 之W37品系）雜交組合之雜種胚培養結果最佳，授粉後 7～9 天的雜交胚，癒合組織形成率及植株再生率最高；將雜交胚培養於 N6 無機鹽類及 MS 有機鹽類培養基，添加 4 mg/l NAA 及1 mg/l kinetin，可直接誘導雜交胚產生 F_1 植株，而固體、液體培養對大量繁殖 F_1 植株的效果類似，但植株存活率以固體培養較佳。

關鍵詞：栽培稻、野生稻、胚培養。

前　　言

自1935年 Gotoh 等人以栽培稻（*Oryza sativa*）與野生稻（四倍體 *O. latifolia* 及二倍體 *O. cubensis*）進行雜交成功後(10)，即陸續有種間雜交染色體鑑定及病蟲害抗性方面之報告(12)，雖種間雜交不易獲得 F_1 材料。然因野生稻集團保存有多量的遺傳變異(17)、病蟲害抵抗性(11)及適應不良環境等特性(21)，因此經由稻屬種間之遠緣雜交，將野生稻遺傳變異性擴大至栽培稻，以減少稻作生產上於遺傳變異狹小之導因潛在危機，極有必要。克服種間雜交低稔性的方法，有胚培養(3,14)、子房培養(22)、試管授精後的胚珠培養(8,18)、秋水仙鹼（colchicine）處理(20)等，其中以胚培養最常被應用。Emerita 指出水稻授粉後6～7天的未熟胚，可大量誘得植株，但授粉後10天的未熟胚，誘得植株比率降低(9)；Chen *et al.* 以番茄種間雜交胚為材料，取授粉後 7 天的未熟胚培養，可獲得80%以上的成活雜交胚，若授粉超過 7 天的未熟胚，則獲得雜交胚比率降低一倍以上(6)。

本試驗的主要目的在進行早期幼胚拯救培養及雜種 F_1 的大量繁殖，以供抗蟲及特性調查之用，提高作物育種效率。

材料與方法

本試驗選用稉稻臺農67號（TNG67）及秈稻臺中秈10號（TCS10）為母本與二倍體 *O. officinalis* 野生稻（由 IRRI 種原庫引進）四個系統編號 W9（IRRI Acc.100878）、W20（IRRI Acc.101115）、W22（IRRI Acc.101137）、W37（IRRI Acc.100896）為父本，分別進行雜交共有八個組合，取不同授粉後天數的小穎花，除去內外穎，經1%次氯酸鈉溶液振盪消毒10分鐘，用無菌水洗滌三次，取出未成熟胚，於溫度25±1°C，光強1,500lux，每日16小時光照下培養，進行以下的試驗：

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1905 號。
2. 本所嘉義農業試驗分所助理研究員、研究員。臺灣省　嘉義市。
3. 國立中興大學農藝學系教授。臺灣省　臺中市。
4. 本所農藝系研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

一、幼胚培養培養基

(一)N6-K：N6 無機鹽類及 MS 有機成分，添加0.2 mg/l NAA、2 mg/l kinetin、3% 蔗糖及1%瓊脂，pH=5.7±0.1。

(二)N6-N：N6 無機鹽類及 MS 有機成分，另外添加 500 mg/l 水解酪蛋白（casein hydrolysate）、4mg/l NAA、1 mg/l kinetin、3% 蔗糖及1%瓊脂，pH=5.7±0.1。

二、F_1植株大量繁殖培養基

1/2 MS 基本鹽類，另外添加 0.2 mg/l NAA，2 mg/l kinetin 及3% 蔗糖爲基本培養基；再分固體（1%瓊脂，pH=5.7±0.1）或液體（pH=5.2±0.1）培養。

三、資料統計分析

在二項分布（binomial distribution）前提下，檢定癒合組織的形成率、根分化率及癒合組織的褐化率等項目之不同雜交組合間差異顯著性；而植株分化數以鄧肯氏多變域測驗法（Duncan's multiple-range test），進行不同處理平均值間之差異顯著性測驗。

結　果

一、不同雜交組合與胚齡對癒合組織分化的影響

表 1 顯示八個不同雜交組合及授粉後 5 ～21日的不同胚齡，所獲得的雜交率均有不同，其中以 TNG67×W9、TCS10×W9、TNG67×W37 及 TCS10×W37 等四個雜交組合，所獲得的雜交成功率較高；而 TNG67×W37 及 TCS10×W37 二種雜交組合中，不同胚齡的雜交胚，直接誘導植株分化的比率較高，其中又以 TNG67×W37 組合之授粉後 7 ～ 9 日的雜交胚培養，可得60%以上的植株爲最佳；TNG67×W9 及 TCS10×W9 授粉後 5 ～ 7 日的雜交胚，對於癒合組織的誘導較其它雜交組合爲高；綜合以上結果顯示利用二個栽培稻與四個野生稻雜交所獲得八個雜交組合中，以 W9 及 W37 的野生稻爲父本時，似乎有較高的雜交率。

表 2 及圖 1 顯示不同雜交組合及胚齡的雜交胚，培養於含高濃度的 auxin 及低濃度的 cytokinin 培養基中，發現可直接誘導植株或擬胚狀的癒合組織。植株分化方面，以 TNG67×W37 雜交後 9 天的胚齡，誘導植株分化最佳，其次是11天胚齡所誘導的植株；而 6 ～ 7 天胚齡或其它雜交組合，誘導植株的分化較差；癒合組織的誘導方面，稉稻臺農67號的品種 7 天胚齡對癒合組織的誘導率較 5 天胚齡高，而秈稻臺中秈10號品種的結果相反；秈、稉稻與野生稻雜交的三個組合中，以 TNG67×W37 組合的授粉後 9 天及11天的未成熟胚培養，對於癒合組織的誘導率較佳達86%以上；其次 TCS10×W9、TNG67×W9 二組合的 9 天未成熟胚，癒合組織的誘導率分別達76%及77%，隨著胚齡的降低，癒合組織的誘導率明顯下降；並且發現各個雜交組合的癒合組織褐化率較秈稉兩品種（對照組）少；根的誘導方面，以 TNG67×W37組合的 7 ～ 9 天胚齡之效果較佳，而以秈稉兩型爲材料，培養的結果發現誘導根的效果均較差；以上結果顯示稉稻臺農67號×野生稻（W37）的雜交組合的 9 天胚齡培養時，可獲得較高的植株再生率及癒合組織形成率。

表 1. 不同雜交組合與胚齡對癒合組織分化的影響 (1994年第一期作)

Table 1. Effect of cross-combination and embryo age on the formation of plantlet and callus from immature rice embryo cultured on N6-K medium (1st crop, 1994) [z]

Cross-combination	Embryo age (days after pollination)	No. of flowers pollinated	Embryos produced		Embryos forming plantlets		Embryos forming callus		Browned callus	
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
TNG67×W9	5	213	16	7.5	0		14	87.5	7	50.0
	7	448	56	12.5	1	1.8	49	87.5	33	67.3
	9	183	13	7.1	1	7.7	5	38.4	4	80.0
	21	301	37	12.3	1	2.7	5	13.5	4	80.0
TCS10×W9	5	167	2	1.2	0		2	100.0	2	100.0
	7	500	8	1.6	0		4	50.0	4	100.0
	9	180	0	0	0		0		0	
	21	301	25	8.3	0		5	20.0	3	60.0
TNG67×W20	7	250	0	0	0		0		0	
	9	202	1	0	0		1	100.0	0	
	21	223	27	12.1	2	7.4	5	18.5	4	80.0
TCS10×W20	5	301	2	0	0		2	100.0	2	100.0
	7	212	0	0	0		0		0	
	9	185	0	0	0		0		0	
	21	192	5	2.6	0		0		0	
TNG67×W22	5	286	4	1.4	0		2	50.0	0	
	7	302	0	0	0		0		0	
	9	400	8	2.0	0		5	62.5	2	40.0
	21	239	26	10.9	4	15.4	4	15.3	3	75.0
TCS10×W22	5	250	1	0	0		0		0	
	7	232	0	0	0		0		0	
	9	189	0	0	0		0		0	
	21	220	0	0	0		0		0	
TNG67×W37	5	146	24	16.4	7	29.2	5	20.8	5	100.0
	7	465	60	12.9	38	63.3	13	21.7	13	100.0
	9	462	6	1.3	5	83.3	0		0	
	21	129	36	28.0	13	36.1	1	2.8	0	
TCS10×W37	5	118	17	14.4	8	47.1	7	41.2	7	100.0
	7	426	20	4.7	6	30.0	7	35.0	6	85.7
	9	254	0	0	0	0	0		0	
	21	160	4	2.5	1	25.0	0		0	

[z] N6-K meduim : N6 inorganic salts, MS organic substance, 0.2mg/l NAA, 2mg/l kinetin and 3% sucrose, pH=5.7. Culture duration was 60 days.

表 2. 不同雜交組合與胚齡對癒合組織分化的影響（1994年第二期作）

Table 2. Effect of cross-combination and embryo age on the formation of plantlet and callus from immature rice embryo cultured on N6-N medium (2nd crop, 1994) [z]

Cross-combination	Embryo age (days after pollination)	No. of embryo cultured	No. of plants produced		Callus-forming embryos		Callus differentiated to form roots		Callus turned brown	
			Total	Average	No.	%	No.	%	No.	%
TNG67×TNG67	5	76	126ab[y]	1.66	43	56(45～64)[x]	3	7(0～15)	6	14(4～24)
	7	76	111ab	1.46	71	93(87～99)	7	10(3～17)	3	4(0～ 9)
TCS10×TCS10	5	40	26cd	0.65	17	43(28～58)	0	0	3	18(0～26)
	7	73	57c	0.82	12	16(7～24)	1	8(0～23)	2	17(0～38)
TNG67×W9	7	90	1e	0.01	13	14(7～21)	1	8(0～23)	0	0
	9	88	22de	0.25	68	77(68～86)	15	22(6～32)	0	0
TNG67×W37	6	50	4de	0.08	14	28(16～40)	3	21(0～42)	0	0
	7	100	11de	0.11	42	42(32～52)	22	52(37～67)	0	0
	9	180	353a	1.98	155	86(81～91)	55	35(28～43)	0	0
	11	61	69bc	1.15	55	90(83～98)	16	29(17～41)	1	12(3～21)
TCS10×W9	7	60	1e	0.03	23	38(26～50)	3	13(0～27)	0	0
	9	42	2de	0.05	32	76(63～89)	0	0	1	3(0～ 9)

[z] N6-N meduim : N6 inorganic salts, MS organic substance, 500 mg/l casein hydrolysate, 4mg/l NAA, 1mg/l kinetin and 3% sucrose, pH=5.7. Culture duration was 60 days.

[y] Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's multiple range test.

[x] Data in parentheses are numbers computed at 95% confidence levels of binomial distribution.

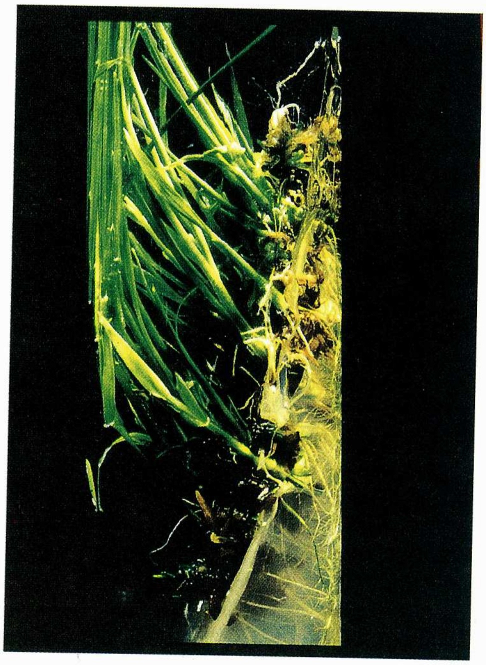

圖 1. 粳稻臺農67號×野生稻（*O. officinalis* 之 W37品系）雜交組合的 9 天胚齡，培養於 N6 無機鹽類、MS 有機鹽類添加 4mg/l NAA 及 1mg/l kinetin 誘導植株產生

Fig. 1. Plant regeneration from callus derived from 9-day-old immature embryo of Tainung 67 (*O. sativa*) ×W37 (*O. officinalis*) . The regeneration medium contained N6 inorganic salts, MS organic substance, 4 mg/l NAA and 1 mg/l kinetin.

二、固態、液態培養基對繁殖速率的影響

將未成熟胚所形成的小苗（約1.5公分）培養於固體或液體培養基，皆能促進植株的繁殖，培養30天內植株的分化率，由1株增加為2.3株；但液體培養超過30天對植株的存活率，似有不良的影響，植株成活率由15天的100%，降為30天的70%，延長液體培養期間，植株存活率均維持在60～70%之間。固體培養對植株的分化率大抵和液體培養類似，30天內呈倍數的趨勢增加，以後至60天趨勢漸緩，植株成活率則較液體培養佳，經二個月培養之植株存活率仍可達95%（圖2）。

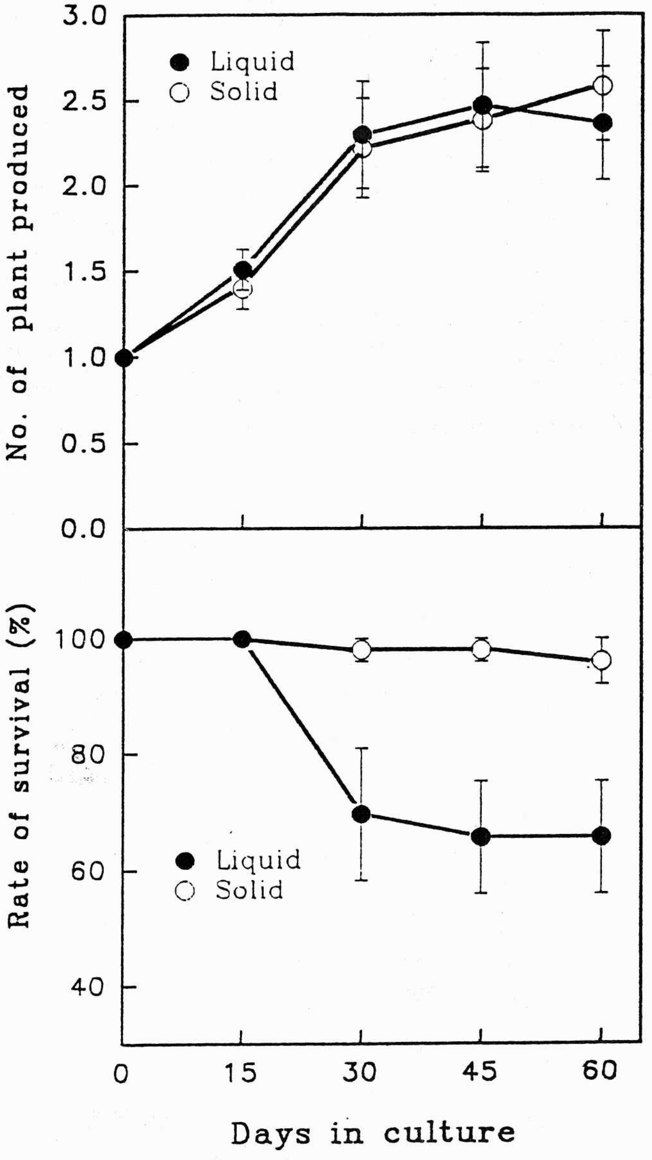

圖 2. 固態及液態培養基對稉稻臺農67號×野生稻(*O. officinalis* 之 W37品系)雜交組合，所形成的小苗繁殖效率的影響

Fig. 2. Relation between culture phase(solid or liquid)and the multiplication rate of cultured plantlets of Tainung 67 (*O. sativa*) ×W37 (*O. officinalis*) . The medium composition was 1/2 MS basic salts supplemented with 3% sucrose, 0.2 mg/l NAA, and 2 mg/l kinetin.

討　論

Chen *et al.* 報導含高 NO_3^- 之 N6 無機鹽類的培養基比含較高 NH_4^+ 的 MS 無機鹽類培養基，對水稻花葯癒合組織形成的效果高出兩倍[5]。Ko *et al.* 指出 NAA 及 kinetin 對水稻幼胚的發育有利[13]；含 2mg/l NAA 和0.3 mg/l kinetin 之培養基，有利於水稻花葯培養癒合組織的誘導率[4]。根據以上學者發現 NAA 及 kinetin 對水稻癒合組織形成及植株再生能力有良好的效果，因此本研究亦採用 N6 無機鹽類及 MS 有機鹽類爲主，另外添加 NAA、kinetin 及水解酪蛋白（casein hydrolysate），作爲水稻幼胚培養的培養基（表1，2）。Davoyan 以超過100個 *O. sativa* 品系爲母本，分別與不同類型的二倍體野生稻（*O. rufipogon*）及四倍體野生稻（*O. latifolia*）雜交，發現不同雜交組合之間對於癒合組織的形成及再生植株的分化是無相關的[7]。本試驗結果顯示秈、稉稻與 W37 野生稻雜交所誘導的植株較多，而秈、稉稻與 W9 野生稻雜交，所誘導的癒合組織形成率較高，顯示不同父本會影響胚形態發生的過程（表1）；改變 auxin 及 cytokinin 的比例，如在 4 mg/l NAA 及 1 mg/l kinetin 的培養基中，可使胚直接誘導植株或產生擬胚狀的癒合組織（embryogenic callus）（表2、圖1）。Ling *et al.* 曾指出以水稻未成熟小穗（immature panicle）直接培養於 MS、B5、N6 及 HE 等種類之培養基，添加低濃度 NAA 及 kinetin，可經由胚形成（embryogenesis）擬胚化癒合組織，並直接誘導植株分化[15,16]，本試驗與 Ling 等人的結果相似。Zhang and Chu 以 5×5 全互交 F_1 材料研究癒合組織及再生植株的遺傳機制，發現不同的父母本雜交組合中呈超顯性現象[24]；表 2 亦顯示稉稻的植株分化率及癒合組織形成率均高於秈稻，因此以稉稻爲母本，與特定野生稻（W37）雜交，授粉後 9 日的胚，對於癒合組織的形成及植株的分化優於其它雜交組合，甚至比原稉稻品種（對照組）稍佳。蔡以11個水稻栽培種爲材料，發現不同雜交組合中未熟胚癒合組織的形成率並無顯著差異，但不同雜交組合之癒合組織的生長率卻有差異，稉稻癒合組織的生長速率較秈稻爲快[2]。Emerita 也提出水稻以授粉後 6～7 天的未熟胚，可大量誘得植株，授粉後10天的未熟胚，誘得植株比率降低[9]；Shome and Bhaduri 報導水稻授粉後 7 日的胚較適合培養，甚至 5 日的胚也可培養成功[19]；Chen and Adachi 以番茄種間雜交胚爲材料，取授粉後 7 天的未熟胚培養，可獲得80%以上的雜交株，若超過授粉後 7 天的未熟胚，則獲得雜交株比率降低一倍以上[6]；本研究結果顯示第一期作雜交以授粉後 7～9 日（表1）及第二期作以授粉後 9 日（表2）爲適當胚培養時期，推測此差異可能爲第二期作孕穗期時溫度較第一期作爲低，造成未熟胚發育遲緩所致；Ko *et al.* 指出眞正影響分化的原因是雜交組合及父母本生長的條件，例如溫度；而胚齡非最直接的影響因子[13]；雜交胚因胚乳的敗育及遠緣種雜交組合的障礙，使胚經常發育較慢且多變化；選擇最佳雜交組合、胚齡及培養基等，可成功培養未熟雜交胚。

溫等指出水稻花葯行液體培養對癒合組織之誘導極有助益[1]。但 Tasy and Chen 指出液體培養所產生之水稻花葯癒合組織，其綠苗分化力幾近於零[23]。本研究顯示固體培養對於植株的繁殖率效果與液體培養極類似，但固體培養持續60天後，植株成活率仍維持在95%以上；而液體培養超過30天，植株的存活率降爲70%（圖2），可知液體培養不利於植株大量繁殖。

誌　謝

本試驗承蒙行政院農業委員會82科技—1・1—糧—56（24）及83科技—1・1—糧—61（33）計畫補助經費，文承本所副所長劉大江博士指導及斧正，謹此申謝。

引用文獻

1. 溫世政、莊志弘、葉常青、蔡新聲。1992。洋菜及糖類誘導之水份逆境對水稻花葯培養的影響。中華農藝 2：69—81。
2. 蔡錦瑩。1988。水稻未成熟胚培養：癒合組織的誘導、生長、分化及原生質體分離之研究。國立中興大學糧食作物研究所碩士論文。臺中市。
3. Ahmad, F. and A. Comeau. 1991. Production, morphology, and cytogenetics of *Triticum aestivum* (L.) Thell×*Elymus scabrus* (R. Br.) Love intergeneric hybrids obtained by in ovule embryo culture. Theor. Apple. Genet. 81：833—839.
4. Chaliff, R. S. 1983. Induction, maintenance, and differentiation of rice callus cultured on ammonium as sole nitrogen source. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 2：29—37.
5. Chen, C. M., C. C. Chen, and M. H. Lin. 1982. Genetic analysis of anther-derived plants of rice. J. Hered. 73：49—52.
6. Chen, L. and T. Adachi. 1992. Embryo abortion and efficient rescue in interspecific hybrids, *Lycopersicon esculentum* and the *Peruvianum* complex. Jpn. J. Breed. 42：65—77.
7. Davoyan, E. I. 1987. Genetic determination of the process of callus formation and induction of regenerates in the tissue culture of rice. Genetika USSR 23：303—310.
8. Dhaliwal, S. and P. J. King. 1978. Direct pollination of *Zea mays* ovules *in vitro* with Z. *mays*, Z. *mexicanna* and *Sorghum bicolor* pollen. Theor. Apple. Genet. 53：43—46.
9. Emerita, V. 1983. Recent progress in rice embryo culture at IRRI. pp. 215—228. In: Cell and tissue culture techniques for cereal crop improvement. International Rice Research Instiutue, Los Banos, Philippines.
10. Gotoh, K. and E. Okura. 1935. Cytological and genetical studies of *Oryza*. Jpn. Jour. Genet. 11：130—131.
11. Ikeda, R. and G. A. Busto. 1990. Resistance of wild rices to bacterial blight (BB). Int. Rice Res. Newsl. 15：14.
12. Katayama, T. 1982. Cytogenetical studies on the genus *Oryza*. VIII. Relationship between the genome E and D. Jpn. J. Genet. 57：613—621.
13. Ko. S. W., C. K. Wong, and C. S. Woo. 1983. A simplified method of embryo culture in rice of *Oryza sativa* L. Bot. Bull. Acad. Sin. 24：97—101.
14. Krauter, R., A. Steinmetz, and W. Friedt. 1991. Efficient interspecific hybridization in the genus *Helianthus* via "embryo rescue" and characterization of the hybrids. Theor. Apple. Genet. 82：521—525.
15. Ling, D. H., W. Y. Chen, M. F. Chen, and Z. R. Ma. 1983a. Somatic embryogenesis and plant regeneration in an interspecific hybrid of rice. Plant Cell Rep. 2：169—171.
16. Ling, D. H., W. Y. Chen, M. F. Chen, and Z. R. Ma. 1983b. Direct development of plantlets from immature panicles of rice *in vitro*. Plant Cell Rep. 2：172—174.
17. Oka, H. I. 1991. Genetic diversity of wild and cultivated rice. pp. 55—81. In: Rice

Biotechnology. (ed. by G. S. Khush and G. H. Toenniessen). International Rice Research Instittute, Manila, Philippines.

18. Reger, B. J. and J. James. 1982. Pollen germination and pollen tube growth of sorghum when crossed to maize and pearl millet. Crop Sci. 22 : 140—144.

19. Shome, A. and P. N. Bhaduri. 1982. *In vitro* culture of immature embryo of rice *Oryza sativa* L. Ind. J. Exp. Biol. 20 : 184—186.

20. Shoemaker, R. C. M. S. Heath, H. Skorupksa, X. Delannay, M. Edge, and C. A. Newell. 1990. Fertile progeny of a hybridization between *Glycine max* (L.) Merr. and *G. tomentella* Hayata. Theor. Apple. Genet. 80 : 17—23.

21. Sitch, L. A., R. D. Dalmacio, and G. O. Romero. 1989. Cross ability of wild *Oryza* species and their potential use for improvement of cultivated rice. Rice Genet. Newsl. 6 : 58—60.

22. Takahata, Y. 1990. Production of intergeneric hybrids between a C_3-C_4 intermediate species *Moricandia arvensis* and a C_3 species *Brassica oleracea* through ovary culture. Euphytica 46 : 259—264.

23. Tsay, H. S. and L. J. Chen. 1984. Effect of cold treatment on the rice anther culture. J. Agric. Res. China 127 : 8—17.

24. Zhang, Z. H. and Q. R. Chu. 1985. Biomertric analysis on anther culture ability in rice (*Oryza sativa L.*) . *Acta Agric. Shanghai* 1 : 1—10.

46-3-1

In Vitro Culture of Immature F_1 Embryos of *Oryza sativa* × *O. officinalis*[1]

Shu-Fung Lo, Yi-Sin Chen[2], Cheng-Chang Li[3] and Hsin-Sheng Tsay[4]

Summary

The frequency of callus formation and the subsequent plant regeneration from 7 to 9 day old embryo cultured *in vitro,* the cross between cultivar Tainung 67 of *O. sativa* and strain W37 of *O. officanalis,* was superior to the other seven crosses within the two distantly related species. The medium containing N6 inorganic salts, MS organic substance, supplemented with 4 mg/l NAA and 1mg/l kinetin facilitated the direct production of plantlets from the cultured hybrid embryos. Culture of the hybrid plantlets on solid or liquid medium showed no significant difference in their multiplication rate. However, the survival rate was higher on the solid than in the liquid medium.

Key words : *Oryza sativa, O. officinalis,* Embryo culture.

1. Contribution No. 1905 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant Agronomist and Senior Agronomist, Department of Agronomy, Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC.
3. Professor, Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
4. Senior Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

46-3-2

Jour. Agric. Res. China (中華農業研究) 46(3) : 216~227 (1997)

Growth and Yield Responses of Rice to Acid Rain. I. Sensitivity to Composition and pH of Simulated Acidic Medium[1]

Chwen-Ming Yang[2]

Abstract : This study investigated the differences of physiological responses of rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung No.67) seedling to a variety of compositions and acidities of simulated acid rain (medium). Roots of Two to three weeks old seedings were soaked into simulated acidic media of different ratios(1:1, 5:1, and 1:5)of sulphuric acid (H_2SO_4) and nitric acid (HNO_3) for 1 h. To examine the pH effect, the level of acidic medium was adjusted to 5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0, or 2.5 using pure water treatment as control. Results showed that pH of the homogeneous solution of rice leaves was reduced from pH 6.69 to pH 6.45−6.42 when treated with simulated acidic media of pH 4.0. A 22- 24% of increase of electrical conductivity was found when the pH of acidic media lowered down to 3.5. The acidic buffering capacity of the homogeneous solution was built up 13−15% more as pH of acidic media further dropped down to 3.0. In the homogeneous solution of roots, its pH was reduced from 6.55 to 6.44-6.41 at pH 4.5 of simulated acidic media. When pH lowered to 4.0, the electrical conductivity went up 12-16%. When reached pH 3.5, the acidic buffering capacity was increased 31- 35%. As the results indicated, roots of rice seedings were more sensitive to external pH changes of simulated acidic medium than leaves, but the magnitude of response was inconsistent. At the same level of pH no statistically significant difference was found within acidic medium treatments of different compositions.

Key words : Rice seedling, Simulated acid rain, pH, Electrical conductivity, Acidic buffering capacity, Homogeneous solution.

INTRODUCTION

Natural rainwater has an pH of ca. 5.6 because of solution of atmospheric carbon dioxide and the formation of carbonic acid. By this fact, acid rain is defined as rain with a pH lower than 5.6. Due to air pollution problem there is evidence indicating an increase of the acidity of rain in many parts of the world over the past 40 years[6,18,19]. At present, there

1. Contribution No. 1906 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Crop Stress Research, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

are no reports of direct injury of crops caused by acid rain. However, it has been reported that simulated acid rain at pH levels lower than in ambient rain induced physiological and morphological changes in various plant species. For instance, Evans *et al.*[10] showed that fewer pods and hence less seeds per plant were produced in soybean treated with simulated acid rain at pH lower than 4.0. At pH 3.1, dry mass of stems and leves were decreased[9]. Smith *et al.*[32] further pointed out that, though fewer flowers and pods were found at pH under 4.0, no physiological basis for soybean yield responses to acid rain of pH 3.0 was identified. In contrast, Irving and Miller[15] found no effect of simulated acid rain of pH 3.1 on soybean yield components. Norby and Luxmoore[22] showed no significant difference in leaf weight of soybean treated with simulated acid rain of pH 2.6. Norby *et al.*[23] did not find any effect of simulated acid rain of pH 3.4 on dry matter distribution of soybean. Thus, experimental results show an inconsistent response to acidic solutions up-to-date.

On physiological responses, numerous traits have been recorded from simulated acid rain treatments, including disintegration of leaf cuticles[8], increased leaching of nutrients from leaves[11,12,37], chlorosis or necrosis of leaves[8,17], and loss of diurnal behavior of stomata [39]. Few information, however, is available on the physiological response of leaf and root of a crop to a short-term ambient acidity.

SO_2 and NO_2 are two common atmospheric pollutants and are known to be toxic to vegetation. They may be incorporated in clouds and be deposited later in rainfall as dilute sulphuric and nitric acids. In fog water collected at Los Angeles area of USA, Waldman *et al.*[36] found it to have higher acidity(pH 2.2-4.0) and higher concentrations of sulfate, nitrate, and ammonium. Sun and Wu[33] evidenced that the average pH value of rainfall measured in many regions of Taiwan was about 4.2 and SO_4^{-2} and NO_3^- were the two major components. Chen and Chen[6] further reported that the average raito of SO_4^{-2}/NO_3^- in Taiwan area was about 4.

The effect of acid rain on crops may be induced by direct incorporation of acidic solution to the aboveground plant parts and/or adsorption of harmful ions by roots. After entering the plants, the reactions can be physiologically or morphologically. As little is known about the physiological response of rice to acid rain, this study investigated the differences of cytoplasmic pH, electrical conductivity, and acidic buffering capacity of rice leaf and root by direct soaking roots in siumulated acid rain (medium) of various compositions and acidities. Their physiological implications were discussed.

MATERIALS AND METHODS

Seeds of rice cultivar, Tainung No.67, were sown in plastic trays (size, 0.30 m×0.22 m ×0.06 m) containing vermiculite and watered daily with pure water. Seedlings were grown in an ambient environment with daily photoperiod of ca. 13 h, temperature of 25°C in the light, and 20°C in the dark. Pure water was made from a RO Pure ST reverse osmosis plus NANO Pure ultrapure water system (model D4741, Barnstead/Thermolyne Corp., USA) with electrical conductivity of 0.9 S m^{-1} and pH of 7.97. The 2-to 3-wk-old seedlings were

divided into groups of five. Enough plants were randomly selected from each group and their roots were subjected to a range of simulated acidic medium treatments (Table 1) for 1h. The pure water treatments were used as control. Simulated acidic media at pH's of 2.5 to 5.0 were made up by additions of sulphuric and nitric acids in a ratio of 1:1. 5:1 or 1:5 by volume to pure water.

Table 1. The composition and pH of simulated acid rain[z].

pH	Ratio	H_2SO_4(ml L^{-1})	HNO_3(ml L^{-1})
2.5	1 : 1	10.859	16.902
	5 : 1	18.098	5.634
	1 : 5	3.620	28.170
3.0	1 : 1	3.569	5.555
	5 : 1	5.965	1.825
	1 : 5	1.173	9.284
3.5	1 : 1	1.173	1.825
	5 : 1	1.927	0.603
	1 : 5	0.388	3.000
4.0	1 : 1	0.377	0.587
	5 : 1	0.627	0.198
	1 : 5	0.128	0.976
4.5	1 : 1	0.102	0.159
	5 : 1	0.161	0.050
	1 : 5	0.037	0.291
5.0	1 : 1	0.040	0.062
	5 : 1	0.066	0.020
	1 : 5	0.013	0.103

[z] The concentration of stock solutions for H_2SO_4 and HNO_3 is 0.1 M.

The treated plants were washed free of vermiculite with pure water and then separated into the aboveground plant portions and roots for investigation of their interaction to simulated acidic media. There were 5 replicates for each experiment and the experiment was repeated three times. Statistics was applied for comparisons of treatment effects. Samples of 0.5 g f.w. of rice leaves or roots were rinsed with pure water three times, air-dried, and ground in liquid nitrogen. The fine powder was homoginized with 100 ml of pure water for subsequent pH and electrical conductivity measurements.

Electrical comductivity was measured at about 25°C with a calibrated conductivity meter (model 32, YSI Inc., USA) after well stirring. Relative conductivity (RC) was calculated from: RC= (Ci/Cc) ×100%, where Ci and Cc are conductivities of simulated acid medium treatments and the control, respectively. The value of pH was measured by a pH meter (model 761, Knick Inc., Germany). For acidic buffering capacity determination, leaf and root homogenates were made from 1 g f.w. samples, ground in liquid nitrogen, and 30 ml pure water was added. Solutions were titrated to bring pH down an unit with 0.02 N HCl. Titration was achieved under stirring and pH changes were recorded.

RESULTS AND DISCUSSION

Acid rain (or acidic medium) is mainly pass through the cuticle into leaf rather than via stomata[7,14,29]. The cuticle therefore acts as the primary barrier to diffusion of non-gaseous substances into leaves and to leaching of solutes from the tissue[20,21,35,38]. Smalley *et al.*[30] pointed out that acids permeate leaf cuticle through charged pores, which function as a fixed buffer delaying, not inhibiting, acid movement. From the experimental results graphed in Fig. 1, the anionic form of acidic ions (HSO_3^-,NO_3^-) may release protons (H^+)

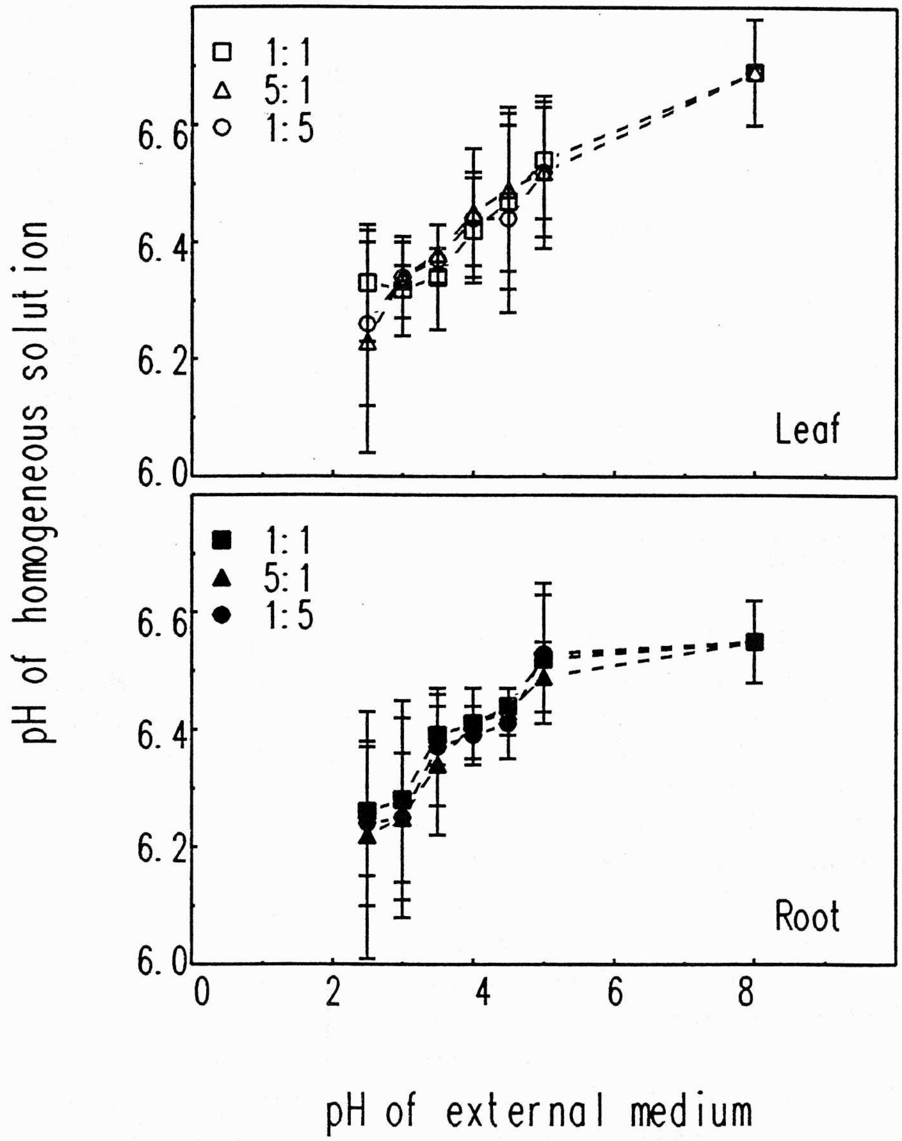

Fig. 1. Correlations between pH of homogeneous solution and external medium. The standard error is included.

when trapped by the cells to decrease cytoplasmic pH. Since the magnitude of flux gradients from the external medium into the cells depends on the balance between intracellular and extracellular pH[24], it was not abnormal to have lower cytoplasmic pH at the extremes of external pH (Fig. 1). The anionic species inside the cells will consume hydroxyl ions and decrease the pH of aqueous phases.

Raven[25] mentioned that phototrophs as a group can carry out their normal growth and maintenance activities over the external pH range 1-11. Smith and Raven [31] and Kuridjian and Guern[16] also showed that the cytoplasmic pH of the plants and bacteria was relatively insensitive to changes in external pH. As shown in Fig. 1 and Table 2, rice plant can regulate cytoplasmic pH to a certain extent, at least in the short term of soaking treatment, even when external pH is unsuitable for growth (down to 2.5). Cytoplasmic pH of rice leaf was decreased only two tenths of unit (6.69 to 6.45-6.42) when external pH was lowered down 4 units (7.97 to 4.0). Averagely, intracellular pH only changes by 0.1 units per 2 units change in the medium. Similarly, it fell about one tenth of unit (6.55 to 6.44-6.41) of homogenate per 2 units (7.79 to 4.5) decrease extracellularly for rice root. But root was more sensitive to external pH than leaf, pH 4.5 to pH 4.0.

Table 2a. Electrical condutivity, pH, and acidic buffering capacity of homogeneous solutions of leaves of rice, cultivar Tainung No.67, treated with simulated acidic media.

pH	H_2SO_4/HNO_3 ratio	Electrical comductivity (10^2 Sm^{-1})	pH	Acidic buffering capacity (ml g^{-1} f.w.)
8.0	CK	2.527±0.242[z] (100)[y]	6.69±0.09(100)	1.011±0.031(100)
5.0	1 : 1	2.647±0.122 (105)	6.54±0.10(98)	1.009±0.029(100)
	5 : 1	2.710±0.145 (107)	6.52±0.11(97)	1.011±0.015(100)
	1 : 5	2.762±0.201 (109)	6.52±0.13(97)	1.012±0.011(100)
4.5	1 : 1	3.027±0.309 (120)	6.47±0.15(97)	1.117±0.136(110)
	5 : 1	2.904±0.249 (115)	6.49±0.14(97)	1.069±0.148(106)
	1 : 5	2.822±0.194 (112)	6.44±0.16(96)	1.088±0.120(108)
4.0	1 : 1	3.021±00315 (120)	6.42±0.09(96)	1.122±0.153(111)
	5 : 1	3.063±0.309 (121)	6.45±0.11(96)	1.132±0.138(112)
	1 : 5	2.965±0.175 (117)	6.44±0.08(96)	1.119±0.163(111)
3.5	1 : 1	3.135±0.316 (124)	6.34±0.09(95)	1.154±0.199(114)
	5 : 1	3.095±0.258 (122)	6.38±0.05(95)	1.152±0.174(114)
	1 : 5	3.127±0.044 (124)	6.37±0.02(95)	1.134±0.163(112)
3.0	1 : 1	3.188±0.613 (126)	6.32±0.08(94)	1.138±0.075(113)
	5 : 1	3.233±0.139 (128)	6.34±0.02(95)	1.161±0.044(115)
	1 : 5	3.126±0.216 (124)	6.34±0.07(95)	1.159±0.094(115)
2.5	1 : 1	3.160±0.636 (125)	6.33±0.10(95)	1.150±0.124(114)
	5 : 1	2.981±0.423 (118)	6.23±0.19(93)	1.164±0.130(115)
	1 : 5	3.089±0.416 (122)	6.26±0.14(94)	1.153±0.085(114)

[z] mean±S.E.
[y] percent of the control

Table 2b. Electrical condutivity, pH, and acidic buffering capacity of homogeneous solutions of roots of rice, cultivar Tainung No.67, treated weth simulated acidic media.

pH	H_2SO_4/HNO_3 ratio	Electrical comductivity (10^2 Sm^{-1})	pH	Acidic buffering capacity (ml g^{-1} f.w.)
8.0	CK	1.030±0.023[z] (100)[y]	6.55±0.07(100)	0.478±0.047(100)
5.0	1 : 1	1.066±0.078 (103)	6.52±0.11(100)	0.518±0.015(108)
	5 : 1	1.063±0.083 (103)	6.49±0.06(99)	0.538±0.032(113)
	1 : 5	1.063±0.095 (103)	6.53±0.12(100)	0.546±0.076(114)
4.5	1 : 1	1.109±0.112 (108)	6.44±0.03(98)	0.555±0.032(116)
	5 : 1	1.074±0.130 (104)	6.43±0.04(98)	0.542±0.052(114)
	1 : 5	1.085±0.149 (105)	6.41±0.06(98)	0.543±0.036(114)
4.0	1 : 1	1.192±0.135 (116)	6.41±0.06(98)	0.605±0.044(127)
	5 : 1	1.165±0.036 (113)	6.41±0.06(98)	0.594±0.083(124)
	1 : 5	1.150±0.087 (112)	6.39±0.05(98)	0.591±0.006(124)
3.5	1 : 1	1.203±0.084 (117)	6.39±0.05(98)	0.640±0.100(134)
	5 : 1	1.158±0.153 (112)	6.34±0.12(97)	0.643±0.074(135)
	1 : 5	1.200±0.091 (117)	6.37±0.10(97)	0.626±0.019(131)
3.0	1 : 1	1.350±0.206 (131)	6.28±0.17(96)	0.722±0.032(151)
	5 : 1	1.360±0.078 (132)	6.25±0.11(95)	0.735±0.028(154)
	1 : 5	1.334±0.161 (130)	3.25±0.17(95)	0.718±0.032(150)
2.5	1 : 1	1.318±0.210 (128)	6.26±0.11(96)	0.757±0.013(158)
	5 : 1	1.352±0.311 (131)	6.22±0.21(95)	0.779±0.028(163)
	1 : 5	1.342±0.282 (130)	6.24±0.14(95)	0.765±0.050(160)

[z] mean±S.E.
[y] percent of the control

At present, the only detailed study on a phototroph, *Chara corallina,* suggests a constancy in the charge state of the sum of organic electrolytes[26]. That is, maintenance of cytoplasmic pH is regulated by the ionization state of the $[CO_2]$ / $[HCO_3^-]$ system. But even with a constant electrochemical potential difference for H^+ at the plasmalemma, behaving like the artificial bilayer *in vivo,* at all pH values, the unregulatable H^+ leak into the cell is higher at extremes of extemal pH[13]. As demonstrated in *Chara corallina,* the H^+-pumping state of actively transport and the passive H^+ flux state are co-exist in this organism, H^+ pumping is activated in the acid zones and passive H^+ fluxes in the alkaline zones[1,2,3,4,5]. If that is the case in rice seedling, H may flux from the external medium of lower pH into rice cells of higher pH through the regulation of this dual function. However, adjustment of intracellular pH of cells to near neutrality is also required to maintain an equilibrium state for metabolism to be continued. How rice plant to maintain its cells in near neutrality is the unknown part yet to be clarified. On the other hand, H co-transport systems may be very sensitive to cytoplasmic pH so that small but significant changes in cytoplasmic pH rapidly stabilize rates of co-transport at low or high external pH values[27]. This might be an explanation for the regulated decrease in cytoplasmic pH of 0.1 units per 2 units decrease in external pH, which is a common feature occurring in the natural environment.

As shown in Fig. 2, changes of electrical conductivity of homogenates were in accor-

dance with that of pH. As data listed in Table 2, a 22-24% of significant increase of electrical conductivity was found in leaf homogenate when the pH of acidic media lowered down to 3.5. At pH 4.0, electrical conductivity of root homogenate went up 12-16%. Again, the sensitivity of root was higher than leaf (pH 4.0 relative to pH 3.5), but the magnitude was in opposite. From the titration curves (Fig. 3), acidic buffering capacity was also strongly pH-dependent. The cytoplasmic buffering capacity of rice leaf and root was deducible, high

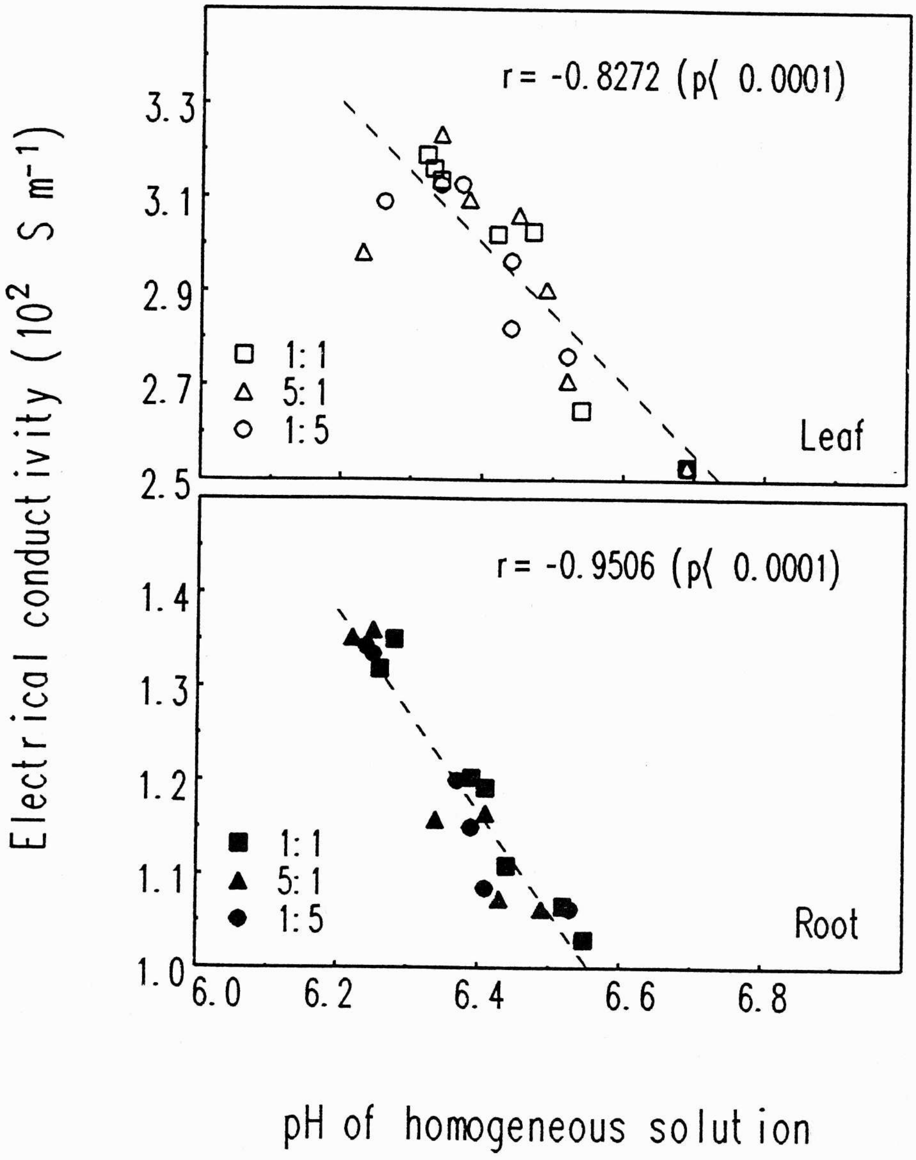

Fig. 2. Changes of eletrical conductivity of homogeneous solution in response to pH value. Correlation coefficient is included.

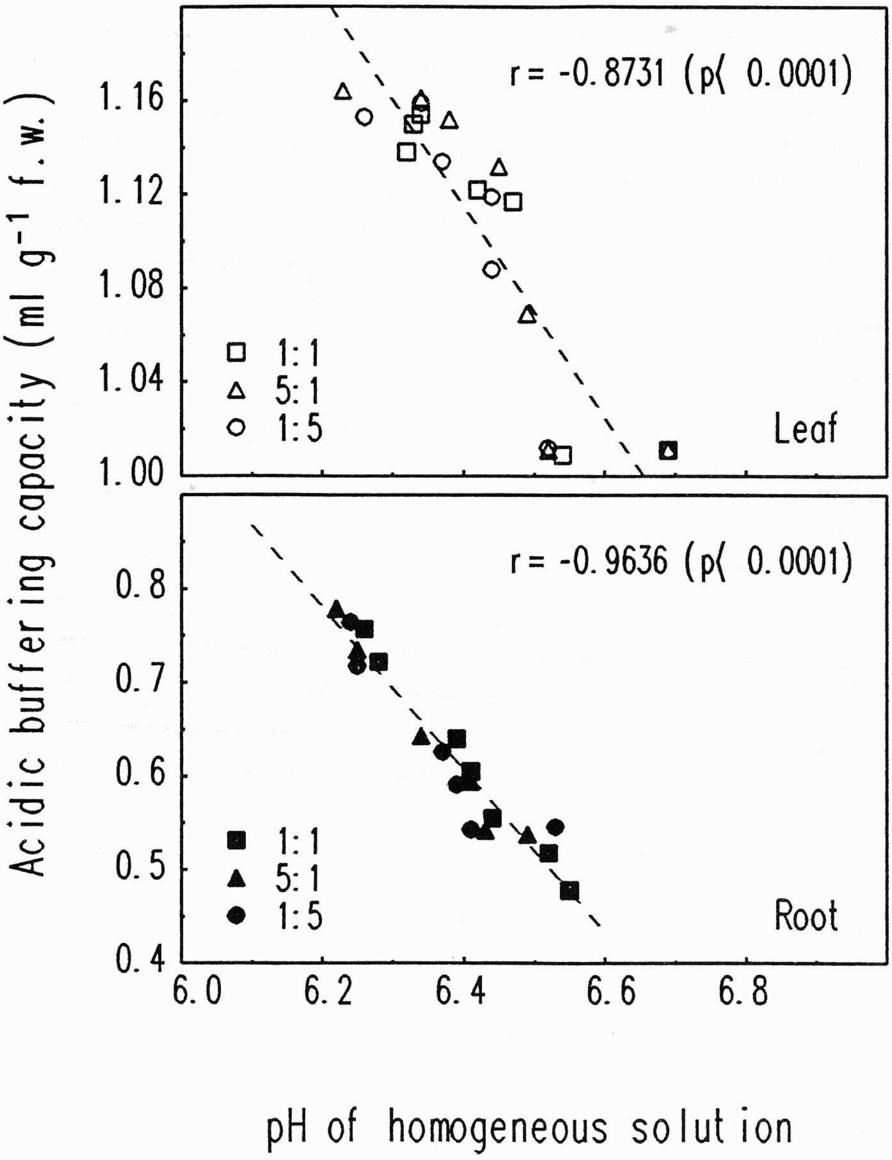

Fig. 3. Changes of acidic buffering capacity of homogeneous solution in response to pH value. Correlation coefficient is includes.

at low cytoplasmic pH. Together with the performance of electrical conductivity, it implies that the rate of proton production or hydroxyl ion consumption and of the buffering capacity of aqueous phases of rice cells can be promoted by lowering external pH level. But the kinds of electrolytes and solutes making the increase of electrical conductivity and acidic buffering were not analyzed in this study. Experimental results of Scholz and Knabe[28] and Thomas *et al.* [34] also indicated that, in addition to metabolic reactions for stabilizing

cytoplasmic pH, the rate of the decrease of pH in the cells is a function of the rate of proton generation (or dydroxyl ion depletion) and buffering capacity. Pfanz and Heber[24] showed that the cytoplasm was much more buffered than the vacuole when compared on a unit volume basis. With its acidic nature, the vacuole possesses little trapping potential than cytoplasm in spite of its large size.

It is concluded from this study that the concentration of simulated acid rain (medium) must be increased to an extent causing an acidification of cytoplsm to decrease intracellular pH. The capacity of acidic buffering and the mechanism(s) involved are still unclear and require in depth invertigation. Interestingly, at the same level of pH no statistically significant difference was found within acidic medium treatments of different compositions. How different components interact to exert on same impact is another question needs to be solved.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Science Council under grants NSC85-2321-B -055-006 and NSC86-2313-B-055-003.

REFERENCES

1. Bisson, M. A. 1984. Calcium effects on electrogenic pump and passive permeability of the plasma membrane of *Chara corallina*. J. Memb. Biol. 81:59-67.
2. Bisson, M. A. 1986. Inhibitors of proton pumping: effect on passive proton transport. Plant Physiol. 81: 55-59.
3. Bisson, M. A. and N. A. Walker. 1980. The *Chara* plasmalemma at high pH. Electrical measurements show rapid specific passive uniport of H^+ or OH^-. J. Memb. Biol. 56:1-7.
4. Bisson, M. A. and N. A. Walker. 1981. The hyper-polarisation of the *Chara* membrane at high pH: effects of external potassium internal pH and DCCD. J. Exp. Bot. 32:951-972.
5. Bisson, M. A. and N. A. Walker. 1982. Control of passive permeability in *Chara* plasmalemma. J. Exp. Bot. 33:520-532.
6. Chen, J. S. and C. S. Chen. 1993. The study on characteristics of acid rain in Taiwan area. pp.263-267. In:proceedings of International Conference on Regional Environmental and Climate Changes in East Asia. Nov. 30-Dec. 3, 1993. Intl. Conf. on Reg. Environ. and Climate Changes in East Asia, Taipei.
7. Dreyer, S. A., V. A. Seymour and R. E. Cleland. 1981. Low proton conductance of plant cuticles and its relevance to the acid-growth theory. Plant Physiol. 68:664-667.
8. Evans, L. S., N. F. Gmor and F. DaCosta, 1977. Leaf surface and histological perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus ammuus* after exposure to simulated acid rain. Amer. J. Bot. 64:904-913.
9. Evans, L. S. and K. F. Lewin. 1981. Growth, development and yield responses of pinto beans and soybeans to hydrogen ion concentrations of simulated acidic rain. Environ. Exp. Bot. 21:103-113.
10. Evans, L. S., K. F. Lewin and M. J. Patti. 1984. Effects of simulated acidic rain on yields of field－grown soybeans. New Phytol. 96:207-213.
11. Fairfax, J. A. W. and N. W. Lapp. 1975. Effects of simulated 'acid rain' on cation loss from leaves.

Nature 255:324-325.

12. Ferebaugh, R. W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. Amer. J. Bot. 62:283–288.
13. Gutknecht, J. 1984. Proton/hydroxide conductance through lipid bilayer membranes. J. Memb. Biol. 82:105-112.
14. Hauser, H. D., K. D. Walters and V. S. Berg. 1993. Patterns of effective permeability of leaf cuticles to acids. Plant Physiol. 101:251-257.
15. Irving, P. M. and J. E. Miller. 1981. Productivity of field-grown soybeans exposed to acid rain and sulfur dioxide alone and in combinaiton. J. Environ. Qual. 10:473-478.
16. Kurkdjian, A. and J. Guern. 1989. Intracellular pH: measurement and importance in cell activity. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 40:271-303.
17. Lee, J. J., G. E. Neely, S. C. Perrigan and L. C. Grothaus. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth, and foliar injury of several crops. Environ. Exp. Bot. 21:171-185.
18. Likens, G. E. and F. H. Bormann. 1974. Acid rain: a serious regional environmental problem. Science 184:1176-1179.
19. Likens, G. E., R. F. Wright, J. N. Galloway and J. J. Buther. 1979. Acid rain. Sci. Amer. 241:43-51.
20. MacFarlane, J. C. and W. L. Berry. 1974. Cation penetration through isolated leaf cuticles. Plant Physiol. 53:723-727.
21. Martin, J. and B. Juniper. 1970. The Cuticles of Plants. St. Martin's Press, New York.
22. Norby, R. J. and R. J. Luxmoore. 1983. Growth analysis of soybean exposed to simulated acid rain and gaseous air pollutants. New Phytol. 95:277-287.
23. Norby, R. J., D. D. Richter and R. J. Luxmoore. 1985. Physiological processes in soybean inhibited by gaseous pollutants but not by acid rain. New Phytol. 100:79-85.
24. Pfanz, H. and U. Heber. 1986. Buffer capacities of leaves, leaf cells, and leaf cell organelles in relation to fluxes of potentially acidic gases. Plant Physiol.81:597-602.
25. Raven, J. A. 1990. Sensing pH? Plant Cell Environ. 13:721-729.
26. Raven, J. A. and F. A. Smith. 1978. Effect of temperature and external pH on the cytoplasmic pH of *Chara corallina*. J. Exp. Bot. 29:853-866.
27. Sanders, D., M. Hapgood and I. R. Jennings. 1989. Kinetic response of H^+-coupled transport to extracellular pH: critical role of cytosolic pH as a regulator. J. Memb. Biol. 108:253-261.
28. Scholz, F. and W. Knabe. 1976. Investigations on buffering capacity on spruce clones of different resistance to air pollution. XVIIUFRO World Congress. Oslo. Working Party S 2.09.04.
29. Schonherr, J. and M. Bukovac. 1972. Penetration of stomata by liquids. Plant Physiol. 49:813-819.
30. Smalley, S. J., H. D. Hauser and V. S. Berg. 1993. Effect of cations on effective permeability of leaf cuticles to sulphuric acid. Plant Physiol. 103:251-256.
31. Smith, F. A. and J. A. Raven. 1979. Intracellular pH and its regulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 30:289-311.
32. Smith, C. R., B. L. Vasilas, W. L. Banwart and W. M. Walker. 1991. Physiological response of two soybean cultivars to simulated acid rain. New Phytol. 119:53-60.
33. Sun, E. J. and R. Y. Wu. 1980. Acid rainds in the Taiwan region (in Chinese). Natl. Sci. Counc. Monthly, ROC 8:428-434.
34. Thomas, M. D., R. H. Hendricks and G. R. Hill. 1944. Some chemical reations of sulphur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. Plant Physiol.19:212-226.
35. Tyree, M. T., T. D. Scherbatskoy and C. A. Tabor. 1990. Leaf cuticles behave as asymmetric mem-

branes. Evidence from the measurement of diffusion potentials. Plant Physiol. 92:103-109.

36. Waldman, J. M., J. W. Munger, D. J. Jacob, R. C. Flagan, J. J. Morgan and M. R. Hoffmann. 1982. Chemical composition of acid fog. Science 218:677-680.

37. Wood, T. and F. H. Bormann. 1977. Short-term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of Pimus strobus L. Water Air Soil Pollut. 7:479-488.

38. Yamada, Y., S. H. Wittwer and M. J. Bukovac. 1964. Penetration of ions through isolated cuticles. Plant Physiol. 39:29-32.

39. Yao, M.-H., S. Chen, J.-C. Tsai, M.-J. Fan and L.-S. Liang. 1995. Differential responses of soybean foliage to simulated acid rain. J. Agric. Res. China 44:81-91.

酸雨對水稻生長與產量之影響

(一) 人工模擬酸雨組成份及酸鹼值之差別效應[1]

楊 純 明[2]

摘要：酸雨或稱酸性濕沉降（acid precipitation），隨著其組成份、濃度、及淋洗期長短，可能對農作物造成不等程度的危害。本研究乃以不同組成份之不等酸鹼值人工模擬酸雨（simulated acid rain）浸潤水稻幼株根部1小時，藉以探討不同酸雨組成對若干生理性狀之差別反應。試驗以播種2～3週的稻苗（臺農67號）為試材，1：1、5：1、1：5等三種不同硫酸（H_2SO_4）與硝酸（HNO_3）比例之試液為人工模擬酸雨，並調製成2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、及5.0等六種酸鹼值等級，而以純水處理為對照組，比較葉片與根系均質液之酸鹼值、電導度值、及酸緩衝量之差異。根據試驗結果，當人工模擬酸雨酸鹼值低至4.0時，葉片均質液之酸鹼值即呈現明顯下降(惟降幅甚小，僅由 pH 6.69至 pH 6.45～6.42）；當人工模擬酸雨續降至 pH 3.5時，葉片均質液之電導度值顯著升高22～24%；再降至 pH 3.0時，酸緩衝量將顯著上升13～15%。根系均質液亦在人工模擬酸雨酸鹼值達4.5時，其 pH 呈明顯差異（惟仍僅由6.55降為6.44～6.41）；而當酸雨之酸鹼值續降至4.0時，根系均質液電導度值即上升12～16%；再降至 pH 3.5時，酸緩衝量則顯著增加31～35%。由此可見，稻苗根系對人工模擬酸雨酸鹼值的敏感程度高於葉片，惟其反應幅度不一。試驗結果亦顯示，在同一酸鹼值本試驗採用之三種酸雨組成份處理之間並未對所調查稻苗生理性狀產生顯著差異。

關鍵詞：水稻幼株、人工模擬酸雨、酸鹼值、電導度值、酸緩衝量、均質液。

---

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1906 號。
2. 本所農藝系副研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(3)：228～240（1997）

多年生大芻草與玉米雜交後裔之分蘗性及地上部鮮重之研究[1]

謝光照　何千里　盧煌勝[2]

摘要：本研究以二倍體多年生大芻草（*Zea diploperennis,* 2n=20）及玉米（*Zea mays,* 2n=20）自交系 Pi330、B77之雜交後裔爲材料，探討分蘖性及地上部鮮草重之變化。結果顯示，二倍體多年生大芻草之分蘖芽數隨著生育日數之增長而增加，出土後60天達到最高峰。在各不同世代中，依玉米遺傳質比例之增加，其分蘖芽數則明顯減少。二倍體多年生大芻草之再生能力，亦於雜種世代中，隨玉米遺傳質比例之增加而遞減，二次分蘖率及再生率均呈明顯下降趨勢。F_1 世代之地上部鮮重表現相當明顯之雜種優勢，或可直接利用於青割牧草之生產。而利用輪迴選種法改良二倍體大芻草之分蘖芽數及鮮草產量，亦爲增進其用途之可行途徑之一。

關鍵詞：多年生大芻草、玉米、分蘖性、雜種優勢。

前　言

多年生大芻草有四倍體（Perennial tetraploid, *Zea perennis, 2n=40*）與二倍體（Perennial diploid, *Zea diploperennis,* 2n=20）兩種[4,7]。二倍體多年生大芻草爲一種高分蘖之牧草，具有二種型態的莖，一般地下莖比地上莖具有較短的節間，直立強健多分蘖，且具有越冬能力；二倍體多年生大芻草一般可利用切莖、分株、種子或芽繁殖[1]，其對日照不敏感，初期生長速率極爲緩慢[5]；與玉米（*Zea mays,* 2n=20）雜交，可結實，同時 F_1 植株之花粉具有95%的可稔性，因此，作爲育種材料，與玉米間相互改良應是可行的[8]，二倍體多年生大芻草與玉米之 F_1 雜種在乾重上確具明顯之雜種優勢[2]。本試驗乃利用二倍體多年生大芻草與玉米之雜交後代來探討分蘖性及地上部鮮重之變化，以作爲育種改良之參考。

材料與方法

本研究所採用的材料有玉米自交系B77與Pi33、二倍體多年生大芻草 TeP 族群（*Z. diploperennis,* 2n=20），及玉米與大芻草之 F_1、F_2、BC_1及BC_2等後裔。B77分離自 W. L. Brown Pioneer 2-ear Composite，屬早熟馬齒種；Pi330係由 Pioneer 6875 分離而來之自交系，屬中早熟之硬粒種。B77及Pi330均不具有分蘖性及再生力。玉米與多年生大芻草 TeP 之雜交種子，在春作以盆栽，於溫室隔離情況下，分三年完成各世代雜交種子之生產，第一年繁殖TeP；第二年以玉米爲母本，TeP

---
1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1907 號。
2. 本所農藝系助理研究員、助理研究員及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

爲父本，生產 F_1 世代；第三年以 F_1爲父本，P_1、P_2爲母本生產 F_2、BC_1及BC_2。每個組合之親本，爲配合花期分三批種植，每批間隔 7 天，每次逢機種子各種10盆，每盆留 2 株，母本人工去雄後，以父本之花粉利用自然及人工補助授粉方式來完成雜交種子之生產。完成之各世代雜交種子在1992年 1 月22日播種於農試所試驗田，田間採逢機完全區集設計，二重複，行長 6m，行株距75×30cm，兩粒播，於 2 月10日出土，出土後二週間苗，每穴僅留一株。基肥以台肥39號複合肥料（N：P_2O_5：K_2O=12：18：12）每公頃施500kg，於播種前施入播種溝內，澆水後再播種。追肥於播種後40天，以硫酸銨（N=21%）每公頃施450kg。生育期間視田間乾燥情形進行必要之灌水，同時於齊膝期進行中耕、培土等作業。生育期間每重複之 P_1、P_2 及 F_1 世代各調查50株，BC_1 與 BC_2 各調查80株，F_2 世代則調查150株。採單株調查，所調查的性狀包括分蘗數、二次分蘗率、再生率、再生芽數及單株鮮重，各項性狀之調查方法如下：

一、分蘗數（tiller number）：分別於出土後40、50及60天時，調查單株之分蘗數，以No./plant 爲單位。

二、二次分蘗率（percent of second tillering from main tiller）：於出土後70天調查單株上各主要分蘗芽上二次分蘗之變異，以百分率爲單位。

三、再生率（ratoon ability）：於青割三週後調查有再生芽之株數，以百分率爲單位。

四、再生芽數（number of ratoon tiller）：於青割後30天調查各世代單株上之再生芽數，以 No./plant 爲單位。

五、單株鮮重（fresh weight per plant）：出土後80天，由地表處割取，稱其鮮重，以g 表示。

所得數據均先進行變方分析，以平均值及變域作比較，並列出頻度分佈圖。

結果與討論

二倍體多年生大芻草 TeP(*Z. diploperennis*)爲一種高分蘗性之多年生牧草，生長習性類似雜草或半野生雜草，可作爲抗病蟲、多年生及分蘗性等之特性轉移之種質[1]。本研究以栽培種玉米自交系B77及Pi330 與二倍體多年生大芻草雜交及回交，形成了六種不同遺傳質比例之世代。田間觀察顯示，二倍體多年生大芻草之初期生長緩慢，分蘗數多，在春作或秋作皆可開花及吐絲。B77與Pi330玉米自交系早期生長較大芻草快，葉片較寬大，植株莖稈較粗狀，不具有分蘗性。TeP×Pi330 與 TeP×B77之F_1植株較親本高，具有明顯的雜種優勢，隨組合之不同，一般有0～7個分蘗芽，植株的生長特性介於兩親之間，開花習性爲不定日長型，有許多節位可結雌穗，此項結果與 Shaver[9]之研究類似。TeP×(TeP×B77)、TeP×(TeP×Pi330)之BC_1 世代外表型較偏向大芻草，葉片直立，具有許多分蘗芽。B77×(TeP×B77)與Pi330×(TeP×Pi330)之BC_2世代植株及果穗之外觀近似玉米，分蘗數極少。TeP×B77與TeP×Pi330之F_2世代有各種不同外表型之分離，變異極大。

應用自交作物的世代平均法，可獲知性狀之遺傳訊息，而其前提則P_1、P_2兩親本須爲同型結合體，分別具有較大及較小之表現值，其P_1、P_2爲100%同型結合體之同質族群；F_1爲異型結合體之同質族群，其遺傳質來至父、母本各佔50%；F_2世代爲同型與異型結合體各佔一半之異質族群所構成；具有最大之遺傳變異；BC_1世代之基因型遺傳質75%來至P_1親本，爲同型與異型結合體所構成之異質族群；BC_2世代各基因型的遺傳質75%來至P_2親本，爲同型結合體與異型結合體混合組成之異質族群，因此，性狀變異的大小趨勢呈現F_2>BC_1或BC_2>P_1或P_2或F_1。大芻草爲異交作物，有關其分蘗性及地上部鮮重之遺傳行爲及族群基因頻度之結構尚無文獻可供參考。在沒有大芻草純質自交系的情況下，爲瞭解其遺傳行爲，乃仿自交作物之世代平均值法，進行大芻草與玉米雜交，欲藉由其後裔之表現趨勢探知其對育種行爲之影響。本試驗使用之大芻草 TeP爲同型結合體與異型結合體所構成複雜之異質族群，因此，其雜交的 F_1 世代仍爲同型結合體與異型結合體混合之異質族群，與自交作物之 F_2

、BC_1或BC_2世代之異質族群之構造相類似，所以其 P_1、F_1 較 P_2 世代在分蘗性乃具有較大的變異存在。

成等[1]的報告指出二倍體多年生大芻草F_1雜種之初期生長速率較親本大芻草快，唯作爲青割牧草，其分蘗數及再生力仍有待改善。本試驗結果，顯示各世代在不同生育時期之分蘗芽數有明顯的差異（表1）。在 TeP×Pi330的組合中，TeP、BC_1 及 F_2 世代之單株分蘗芽數隨著生育期之增長而增加，出土後60天達最大。F_1 及 BC_2 在出土後50天時分蘗芽數即已達最大值，出土後60天因植株間遮蔭，造成部份分蘗芽無法照到陽光而枯死，故分蘗芽數反呈減少現象，Pi330玉米自交系不具有分蘗性。在同一生育日數內，P_1及BC_1具有較多分蘗芽數，F_2次之，F_1及BC_2分蘗芽數之平均值分別爲0.7與0.9間，玉米自交系則沒有分蘗芽。在TeP×B77組合中，大芻草 TeP及其BC_1的分蘗芽數亦隨生長期之增長而增加，於出土後60天達最大；而 F_1、F_2及BC_2之分蘗芽數於出土後50天即達最大值，然後呈現下降或持平；玉米自交系B77則不具有任何分蘗芽。在同一生育日數內，一般 TeP、F_1、F_2及BC_1具有較多之分蘗芽數，其次爲 BC_2，玉米自交系B77自始至終皆沒有分蘗芽產生。在各世代後裔中，發現不同的玉米遺傳質（B77或Pi330）對分蘗芽數有不同的影響，BC_1世代中TeP×(TeP×Pi330）之分蘗芽數較TeP×（TeP×B77）多；而在 F_1、F_2及 BC_2 世代中，帶有B77遺傳質者反比帶有Pi330者具較多的分蘗芽數（表１）。

表 1. 三個不同生育時期之分蘗數及變異範圍 (No./plant)

Table 1. Mean and range of tiller number for maize, teosinte and their progenies at three growth stages.

Generation	Days after emergence					
	40		50		60	
	$\bar{x}$±SE	Range	$\bar{x}$±SE	Range	$\bar{x}$±SE	Range
			TeP×Pi330			
P_1	1.31±0.02	6～0	2.45±0.20	12～0	3.86±0.25	12～0
P_2	0±0	0～0	0±0	0～0	0±0	0～0
F_1	0.95±0.02	5～0	0.97±0.08	5～0	0.73±0.02	5～0
F_2	1.31±0.36	7～0	1.54±0.35	7～0	1.62±0.33	8～0
BC_1	2.36±0.31	8～0	3.20±0.57	11～0	3.73±0.45	12～0
BC_2	0.72±0.11	4～0	0.73±0.11	4～0	0.72±0.09	4～0
$LSD_{(0.05)}$	0.44	—	0.62	—	0.46	—
			TeP×B77			
P_1	1.93±0.28	6～0	2.68±0.16	9～0	3.24±0.21	9～0
P_2	0±0	0～0	0±0	0～0	0±0	0～0
F_1	2.72±0.07	7～0	2.87±0.04	7～0	2.87±0.04	7～0
F_2	1.85±0.38	6～0	2.24±0.39	9～0	2.28±0.38	9～0
BC_1	1.68±0.34	6～0	2.14±0.34	7～0	2.86±0.32	8～0
BC_2	1.16±0.11	4～0	1.45±0.46	6～0	1.45±0.46	6～0
$LSD_{(0.05)}$	0.55	—	0.88	—	0.92	—

各世代出土後60天之分蘗芽數之頻度分布如圖1，由圖可看出TeP×Pi330組合中，TeP的分蘗芽數介於0～12之間，平均值爲3.86，具有2個分蘗芽之植株佔33%；Pi330則完全沒有蘗芽；F_1世代之分蘗芽數介於0～5，沒有分蘗芽者佔60%左右，平均分蘗芽數爲0.73；F_2世代之分蘗芽數介於0～10之間，含0～2個分蘗芽之植株約有74%左右，平均分蘗芽數爲1.62個；BC_1世代之分蘗芽數介於0～12個，含有2～4個分蘗芽之植株佔68%左右，平均分蘗芽數爲3.73；BC_2世代分蘗芽數介於0～4之間，不具有分蘗芽之植株佔50%左右，平均分蘗數爲0.72個。試驗數據顯示，在不同世代中，凡大芻草的遺傳質所佔比例較多者，其分蘗芽數較多。在出土後60天，TeP×Pi330組合中，各世代田間分蘗芽之生長情形如圖2，不同世代間比較，亦可探知，一般具有玉米遺傳質（Pi330）較多之世代，其分蘗芽數通常較少。

TeP×B77在出土後60天之分蘗芽數頻度分布，如圖3所示。TeP親本之分蘗芽數介於0～8之間，以具有2～4個分蘗芽之植株所佔百分比較多，平均分蘗芽數爲3.24個；B77玉米自交系沒有分蘗芽出現；F_1世代，單株有3～4個分蘗芽者佔59%左右，平均分蘗芽數爲2.87個；F_2世代呈現偏向較少分蘗數之偏歪分布，分蘗芽數之範圍介於0～9之間，含有4個以下分蘗芽之植株佔91%左右，平均爲2.27個；BC_1世代分蘗芽數之分布介於0～8之間，含2～4個分蘗芽之植株約佔66%左右，平均數爲2.86個；BC_2世代之分蘗芽數之分布範圍介於0～6之間，呈現偏歪分布，含0～3個分蘗芽之植株佔97%左右。在出土後60天，TeP×B77組合中，各世代田間分蘗芽之生長情形如圖4，可看出在各世代中，如前所述的情形，當玉米之遺傳質佔較大比例時，其分蘗數必隨之減少。

Pasupulet and Galinat[8] 指出玉米與二倍體多年生之大芻草相比較，發現在第5對染色體內有同臂內倒置（paracentric inversion）；而第9對染色體上則存在著末端倒置（terminal inversion）。而水稻的種間 *O. paraguaiensis* 與 *O. australiensis* F_1之細胞觀察，發現種間染色體在形狀及大小上均有差異，在第一中期時，僅大約有七、八個二價體形成；而 *O. paraguaiensis*×*O. brachyautha* F_1之染色體則幾無配對產生[6]。由此可知種間雜交之 F_1 植株之減數分裂及 F_2 分離，由於染色體的構造（基因位置序列）及大小在種間存在著某種程度之差異性，因此，常有偏向某一親本之分離現象。玉米與二倍體多年生大芻草之 F_2 世代中，不論是 TeP×Pi330或TeP×B77組合，均呈現偏向較少分蘗數之偏歪分佈，可能與大芻草之染色體組在 F_2 分離世代呈現非逢機分離有關[3]。

本試驗種植於1992年1月22日，於2月10日出土，待其生長至出土後70天時，調查主分蘗芽上之二次分蘗芽，結果看出，不論是TeP×Pi330或TeP×B77組合中，TeP及BC_1兩者均具有較高比例之二次分蘗，而 F_2 世代，具有二次分蘗芽之植株僅佔4～5%左右，其餘世代則不具有二次分蘗芽。於出土後生長至80天時進行刈割，再於一個月後調查其再生率，結果顯示，具有較高大芻草遺傳質比例之TeP 及 BC_1 世代，其再生率較高，TeP親本介於69～100%之間；而 BC_1 隨著組合（Pi330或B77）之不同介於66～74%間；F_1 及 F_2 世代之再生率，在兩個不同組合間稍有不同，TeP×B77組合具有較高之再生率；玉米自交系（Pi330及B77）與BC_2之再生率極低或爲0。

作爲青割用牧草，刈割後再生力的強弱，對其利用價值有絕對的重要性，二倍體多年生大芻草除了呈現多年生之越冬特性外，其在出土後80天（開花期）刈割，同樣具有明顯的再生能力，此爲其重要之優良特性之一。再生芽之分布如圖5所示，可看出在 TeP×Pi330組合中，TeP之再生芽數介於0～21之間，沒有再生芽者佔31%左右，平均再生芽數爲5.36個；玉米自交系不具有再生芽；F_1 世代再生芽數介於0～4之間，沒有再生芽者佔95%左右，平均再生芽數僅0.07；F_2 世代之再生芽數介於0～5之間，不具有再生芽之植株佔81%左右，平均再生芽數爲0.35個；BC_1 世代再生芽數介於0～15之間，含有0～4個分蘗芽之植株所佔百分率較高；BC_2 世代所有植株皆不具再生芽。

在TeP×B77組合中，刈割後一個月之再生芽頻度分布示如圖6，由圖中可看出TeP植株具有100%之再生率，其再生芽數介於1～22個之間，平均數爲6.96個，爲偏向較少再生芽數之偏歪分布；

玉米自交系B77完全沒有再生芽產生；F_1世代之再生芽數介於0～6之間，其中沒有再生芽之植株佔約54%左右，平均再生芽數爲0.94個；F_2 世代再生芽數介於0～8個之間，其中沒有再生芽之植株佔67%左右，平均再生芽數爲0.9個；BC_1 世代再生芽數介於0～13之間，其中不具再生力之植株佔34%左右，平均再生芽數爲2.42個；BC_2 世代再生芽數介於0～2之間，其中不具再生芽之植株佔98%左右，平均再生芽數爲0.02個。由上述之數據可看出，二倍體多年生大芻草出土後80天刈割，還具有再生能力，而各世代中之再生芽數及再生率皆依玉米遺傳質百分比之增加而顯著下降，顯然本試驗所使用之玉米自交系已完全喪失了再生基因，欲利用玉米來改良大芻草之分蘖數及再生力，將是徒勞無功。

青割型牧草的優劣，除分蘖數要多，再生力要強外，乾物質產量的高低也是重要因子之一。謝與盧[2]之試驗顯示在地上部乾物重方面，多年生二倍體大芻草與玉米自交系B77間之 F_1 有明顯的雜種優勢存在。而本試驗之結果，發現多年生二倍體大芻草與玉米自交系之雜交後裔，不論在TeP×Pi330或TeP×B77組合中，F_1 世代在鮮草產量方面也均具有明顯的雜種優勢（表2），因此利用 F_1 雜種生產青割牧草，似乎可行，但其多年生性及再生後的分蘖特性之表現是否能維持，有待進一步確認。另一方面，利用輪迴選種法改良鮮草產量，以提升二倍體多年生大芻草之利用價值，也是值得進一步探討的途徑。

表 2. 出土後80天之單株地上部鮮重（公克）及其變異範圍

Table 2. Mean and range of above ground fresh weight(g/plant) at eighty days after emergence.

Generation	$\bar{x}\pm SE$	Range
	TeP×Pi330	
P_1	466.6±73.8	1800～ 25
P_2	480.9±59.5	1055～115
F_1	890.5±94.9	2480～240
F_2	698.4±93.3	2050～ 30
BC_1	847.9±66.3	1900～160
BC_2	764.3±64.5	2335～155
$LSD_{(0.05)}$	161.9	—
	TeP×B77	
P_1	450.2± 72.2	910～ 20
P_2	506.0± 56.6	920～200
F_1	778.8±115.8	2020～130
F_2	630.3±124.7	2210～ 45
BC_1	640.3± 70.5	1830～ 10
BC_2	731.3± 73.8	1760～120
$LSD_{(0.05)}$	172.5	—

引用文獻

1. 成游貴、羅國棟、諶貽訓。1986。玉蜀黍及大芻草雜交育種。臺灣省畜產試驗所年報第37頁。
2. 謝光照、盧煌勝。1995。玉米、大芻草及其雜交種之分櫱性、再生能力與一些重要農藝性狀之研究。中華農業研究 44：93-100。
3. Emerson, R. A. 1929. Genetic notes on hybrids of perennial teosinte and maize. Am. Naturalist 63:289-300.
4. Iltis, H. H., and J. F. Doebley. 1980. Taxonomy of *Zea*(Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synapsis. Amer. J. Bot. 67:994-1004.
5. Iltis, H. H., J. F. Doebley. R. M. Guzman, and B. Pazy. 1979. *Zea diploperennis*(Gramineae):A new teosinte from Mexico. Sci. 203:186-188.
6. Li, H. W., T. S. Weng, C. C. Chen, and W. H. Wang. 1961. Cytogenetical studies of *Oryza sative* L. and its related species. 1. Hybrids *O. paraguaiensis* wedd.×*O. brachyantha* Chev. et Roehr, *O. Paraguaiensis* wedd.×*O. australiensis* Domin. and *O. australiensis*×*O. alta* Swallen. Bot. Bull. Acad. Sinica 2:79-86.
7. Mangelsdorf, P. C. 1961. Introgression in maize. Euphytica 10:157-168.
8. Pasupuleti, C. V., and W. C. Galinat. 1982. *Zea diploperennis* I. Its chromosome and comparative cytology. J. Hered. 73:168-170.
9. Shaver, D. L. 1964. Perennialism in *Zea.* Genetic 50:393-406.

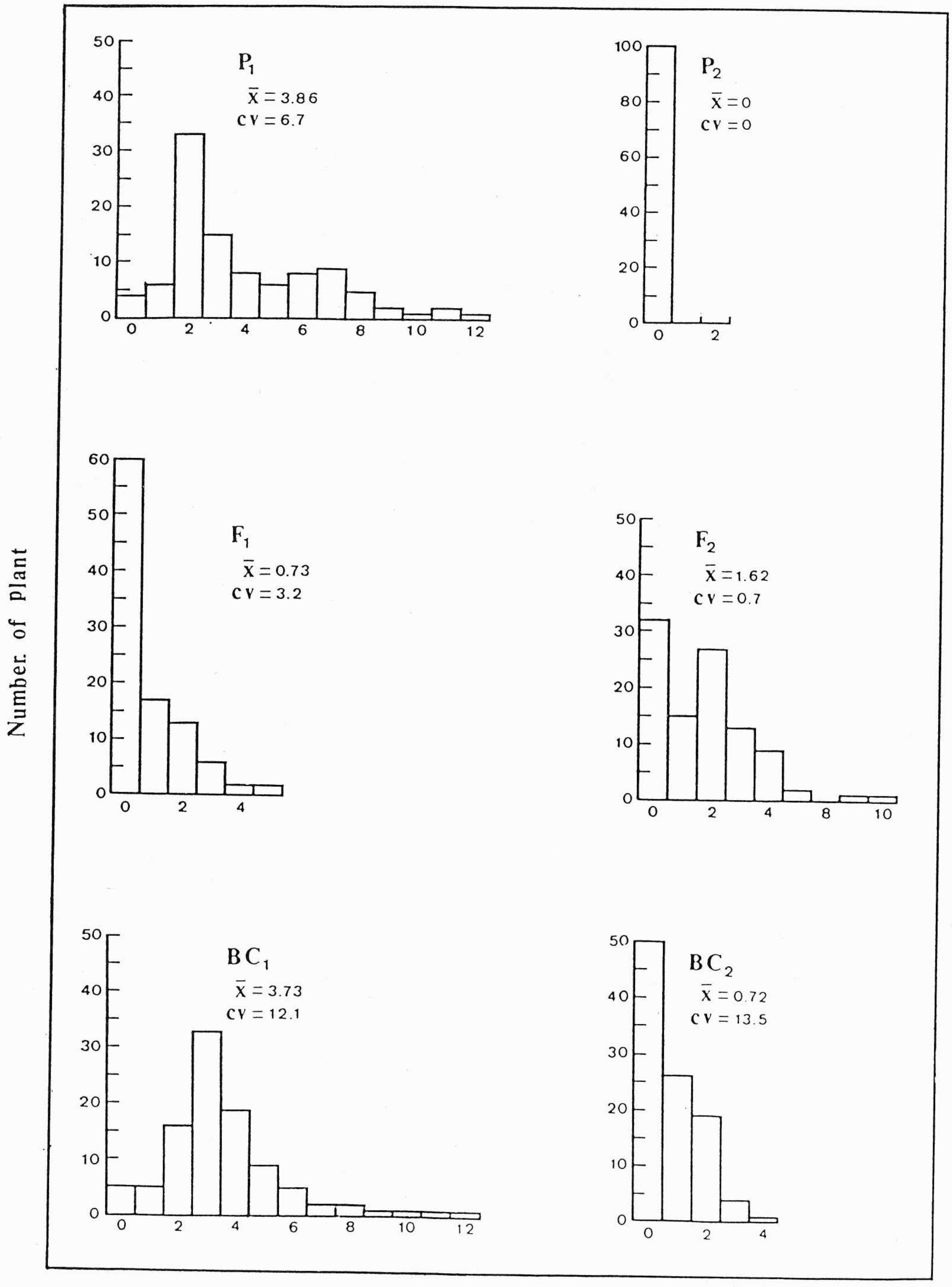

圖 1. 出土後60天TeP×Pi330各不同世代分蘗芽之頻度分布

Fig. 1. The frequence of distribution of tiller number at sixty days after emergence of TeP, Pi330 and their progenies.

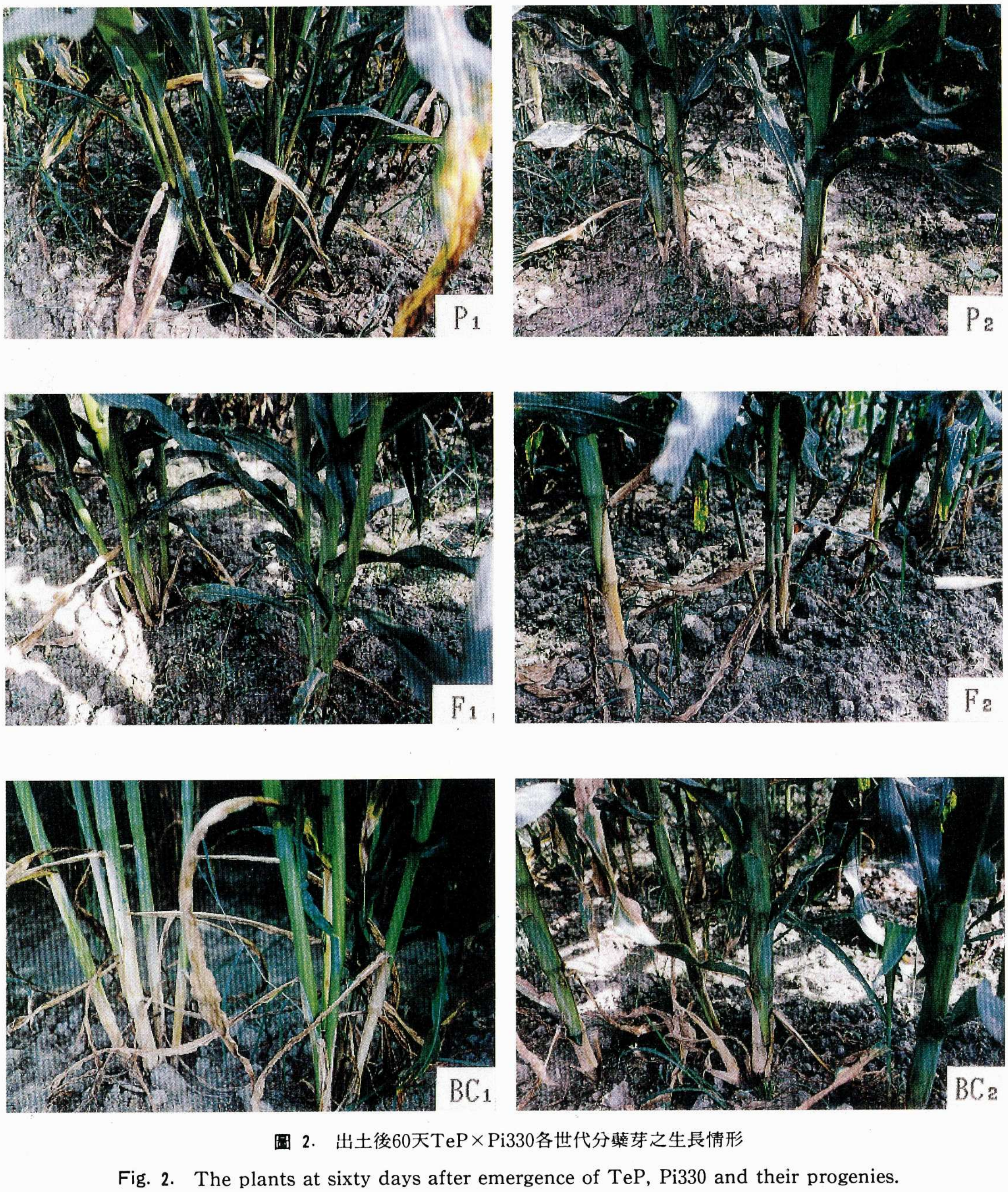

圖 2. 出土後60天TeP×Pi330各世代分蘗芽之生長情形

Fig. 2. The plants at sixty days after emergence of TeP, Pi330 and their progenies.

圖 2. 出土後60天TeP×Pi330各世代分蘗芽之生長情形

Fig. 2. The plants at sixty days after emergence of TeP, Pi330 and their progenies.

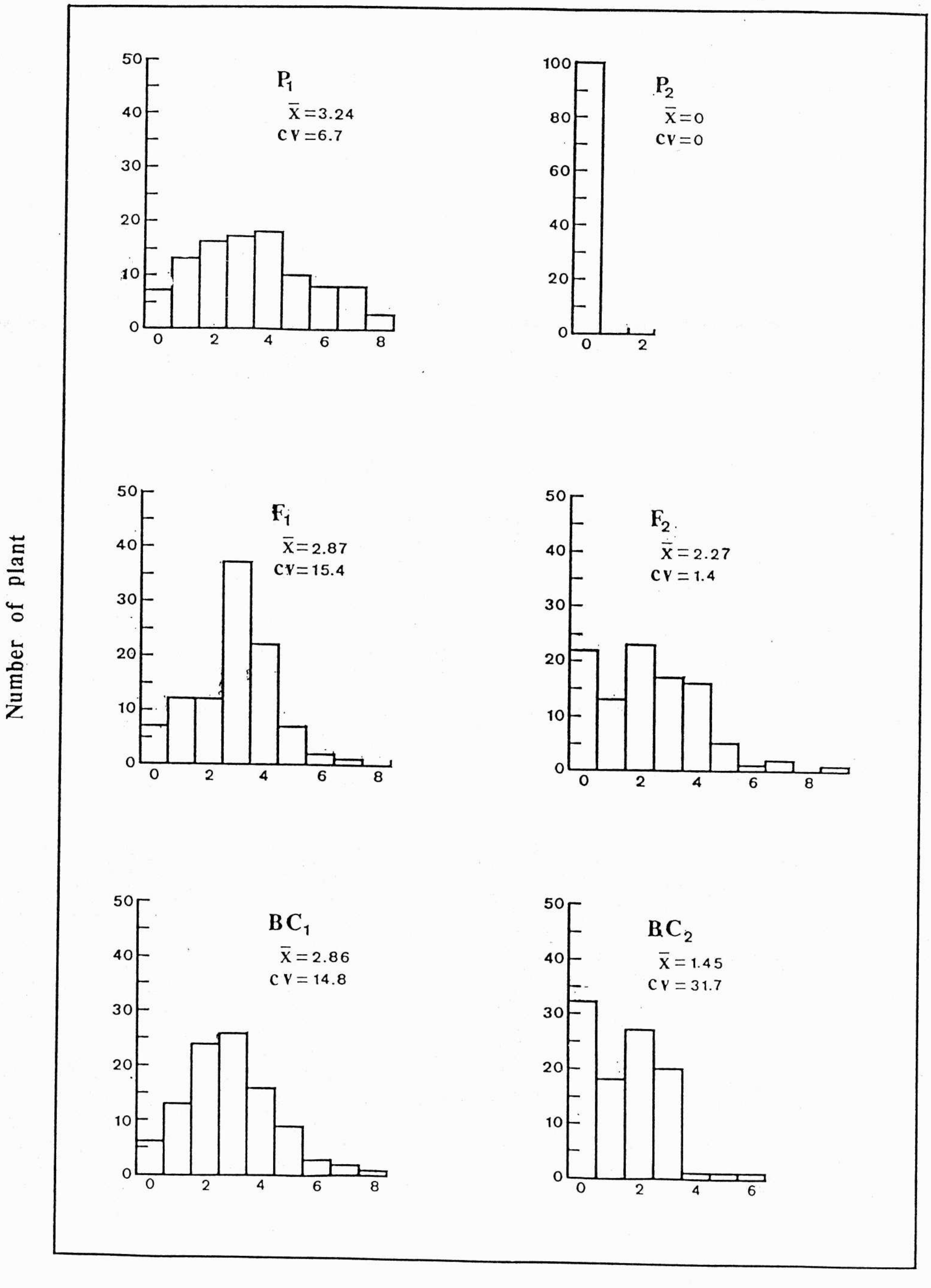

圖 3. 出土後60天TeP×B77各不同世代分蘗芽之頻度分布

Fig. 3. The frequence of distribution of tiller number at sixty days after emergence of TeP, B77 and their progenies.

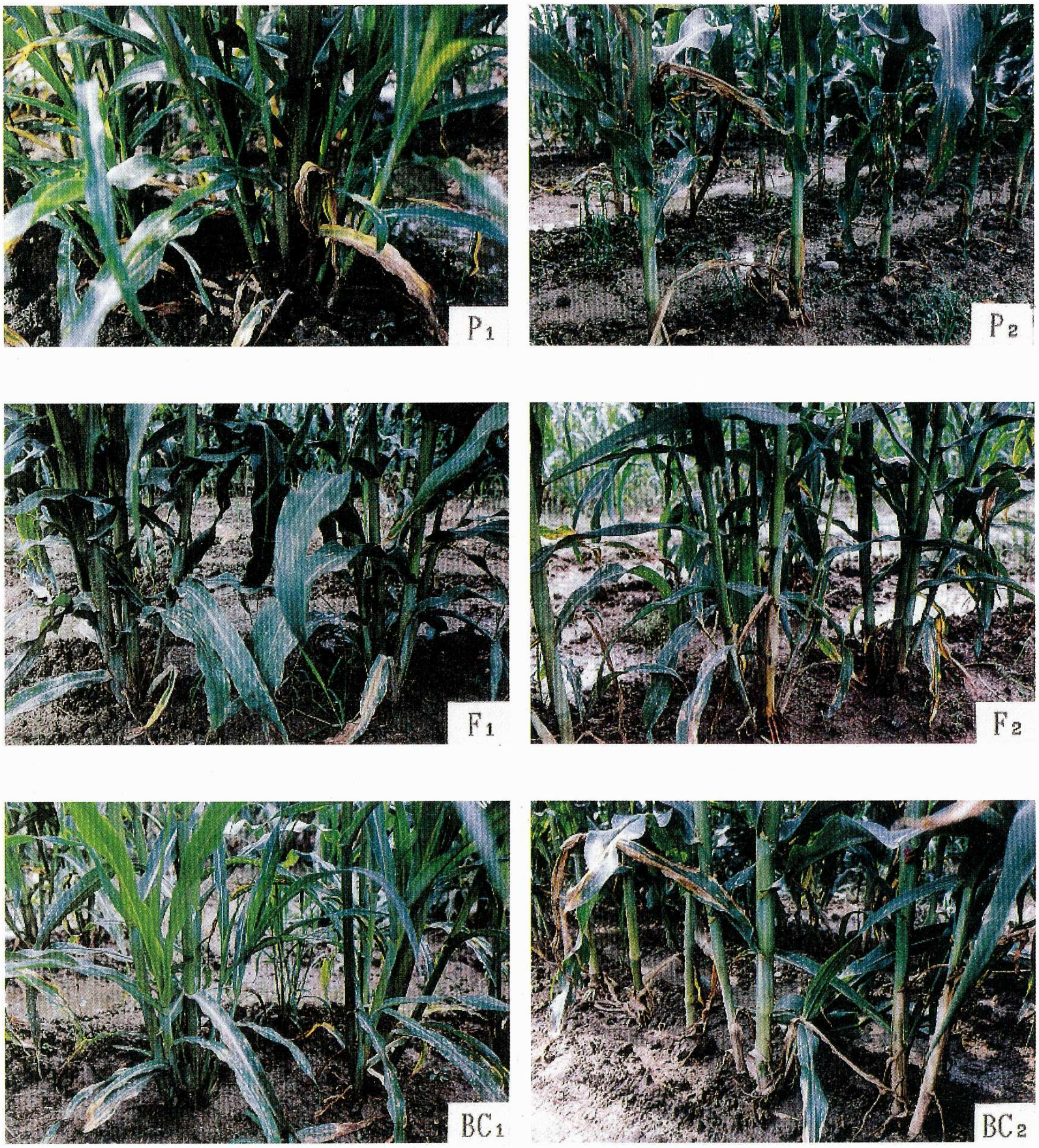

圖 4. 出土後60天TeP×B77各世代分蘖芽之生長情形

Fig. 4. The plants at sixty days after emergence of TeP, B77 and their progenies.

圖 4. 出土後60天TeP×B77各世代分蘖芽之生長情形

Fig. 4. The plants at sixty days after emergence of TeP, B77 and their progenies.

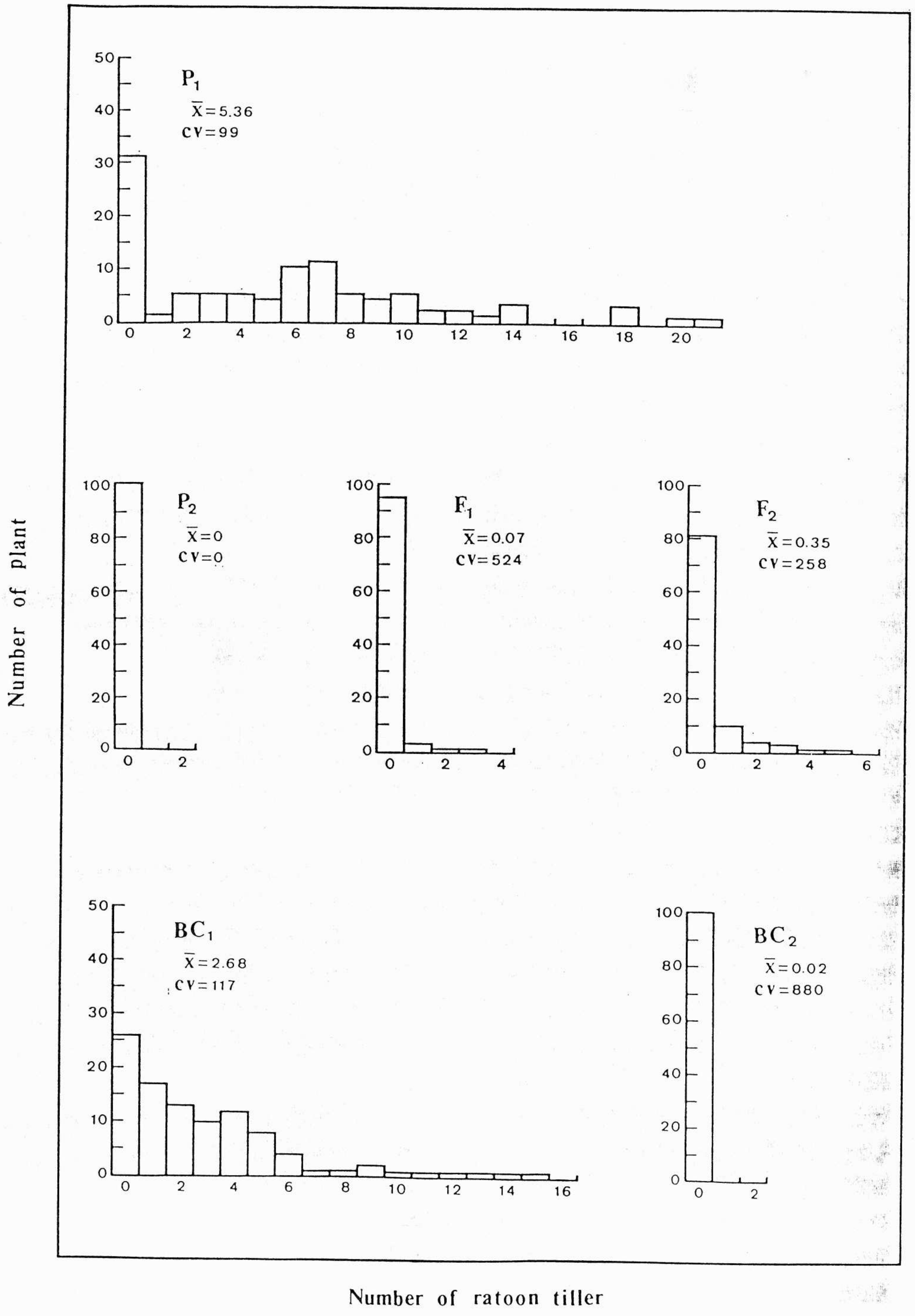

圖 5. 刈割後30天TeP×Pi330各不同世代再生芽之頻度分布

Fig. 5. The frequence of distribution of number of ratoon tiller at thirty days after cutting of TeP, Pi330 and their progenies.

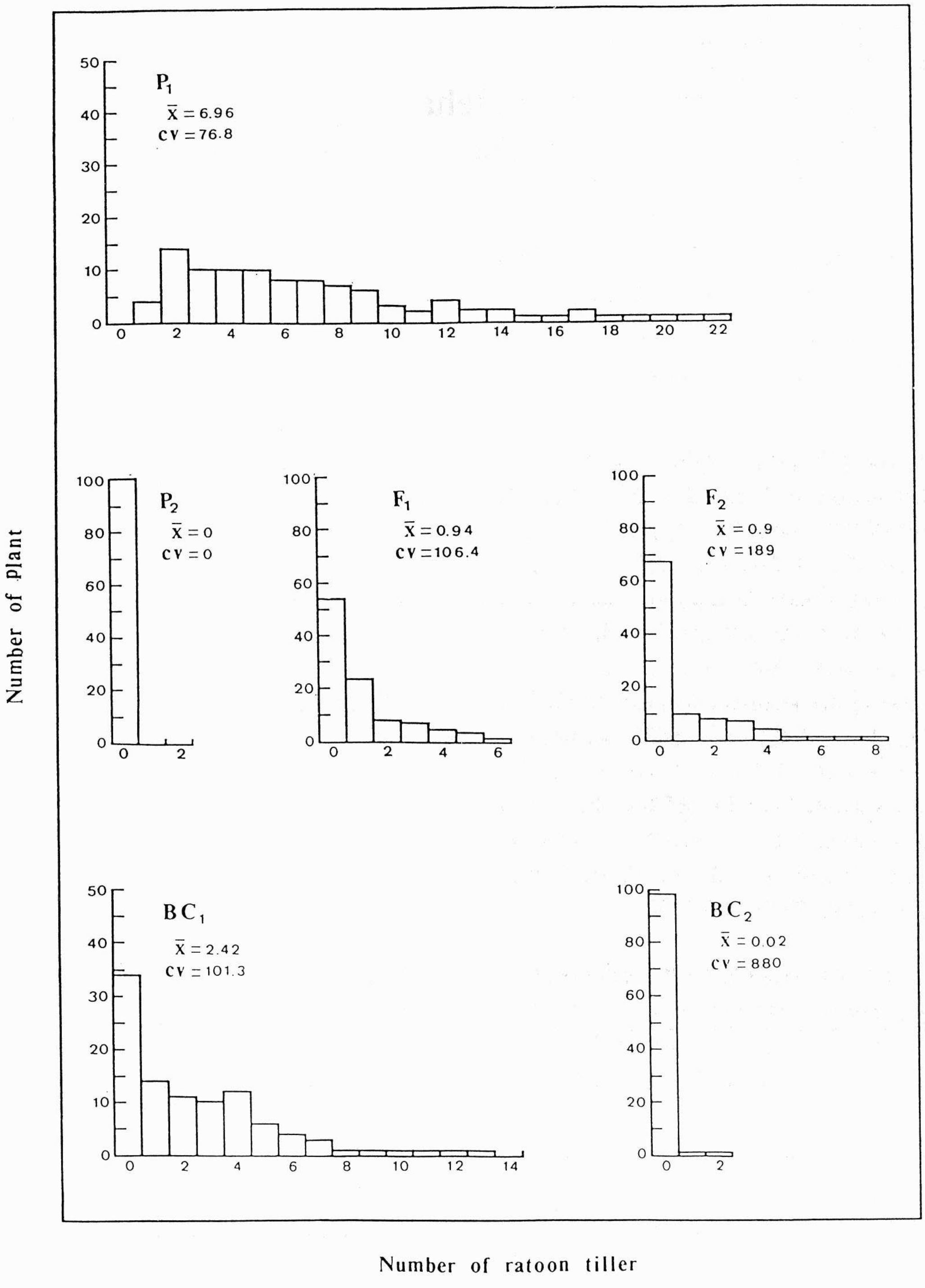

圖 6. 刈割後30天TeP×B77各不同世代再生芽之頻度分布

Fig. 6. The frequence of distribution of number of ratoon at thirty days after cutting of TeP, Pi330 and their progenies.

u26-3-3

Studies on the Tillering Behavior and Above Ground Fresh Weight of Maize and Perennial Diploid Teosinte and Their Progenies[1]

Guang-Jauh Shieh, Chan-Lee Ho and Hung–Shung Lu[2]

Summary

Perennial diploid teosinte Tep (*Zea diploperennis*, 2n=20), maize inbred lines B77, Pi330 (*Zea mays*, 2n=20) and their progenies were used to investigate their tillering behavior and above ground fresh weight. The results are summarized as follows: Tiller number of TeP increased following by growth stage, and arrived maximum at sixty days after emergence. TeP had high ratoon ability after cutting at the eighty days after emergence. As the proportion of maize germplasm increased, then the tiller number, percent of second tillering from main tiller and ratoon ability of their progenies decreased. F_1 hybrids of maize and TeP had heterosis in above ground fresh weight, and can be directly used as forage production. However, recurrent selection could be one favorable ways to improve the tiller number and above ground fresh weight of perennial diploid teosinte TeP.

Key words : Perennial diploid teosinte, Maize, Tillering, Heterosis.

1. Contribution No. 1907 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant Agronomist, Assistant Agronomist and Senior Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(3)：241～248（1997）

一年生大芻草與玉米雜交後裔之分蘖性及地上部鮮重之研究[1]

謝光照　何千里　盧煌勝[2]

摘要：本研究以一年生大芻草 TeA（*Euchlaena mexicana,* 2n＝20）與玉米（*Zea mays,* 2n＝20）自交系 Pi330、B77 之雜交後裔爲材料，探討分蘖性及地上部鮮重之變化。結果顯示，一年生大芻草之分蘖數隨著生育日數之增長而增加，出土後60天可達最高峰；同時可看出在不同程度異質結合世代中，當玉米遺傳質比例增加時，其分蘖數呈現明顯的減少現象。TeA 與 BC_1 一般具有較高比例之二次分蘖，其餘雜種世代不具二次分蘖或極低。F_1 雜種在單株地上部鮮重上具有明顯之雜種優勢，可直接用於青刈牧草之生產。

關鍵詞：一年生大芻草、玉米、分蘖性、雜種優勢。

前　言

青割用飼料作物中，有一種原產於南美洲一年生大芻草（*Euchlaena mexicana,*2n＝20），爲玉米之近緣種，分蘖多（20左右），在春作播種，於營養生長早期青割，植株有再生能力，可收穫四次左右[2]；其生長習性類似雜草或半野生雜草，具有強健的生育特性，直立，多分蘖，植株高大，莖稈粗壯，葉片寬大，雄穗花序大且分枝多，具有短日性，必須在13小時的短日下經30天才開花[4]，無越冬能力。大芻草因其分蘖頗多，且刈割後能再生，故爲一重要青刈型牧草。而一般栽培之玉米大都不具有分蘖性，且於營養生長期收割後，再生能力極弱。玉米與一年生大芻草（*E. mexicana.*）可雜交，其 F_1 雜交種之花粉可稔率在72.4%[1]，且 F_1 雜種在乾重上具有明顯之雜種優勢[3]。本試驗目的係利用玉米自交系與一年生大芻草雜交之後代，探討大芻草分蘖性及鮮草產量之表現，以便作爲玉米與一年生大芻草間雜交育種之參考。

材料與方法

本試驗以玉米自交系 B77 與 Pi330，一年生大芻草 TeA（*E. mexicana,* 2n＝20），與其雜交組合之後代 F_1、F_2、BC_1 及 BC_2 爲材料。B77 分離自 W. L. Brown Pioneer 2-ear Composite，屬早熟馬齒種；Pi330 係由 Pioneer 6875 分離而來之自交系，屬中早熟之硬粒種。B77 及Pi330 兩者均不具有分蘖性及再生力。玉米與一年生大芻草 TeA 之雜交種子，在秋作以盆栽於溫室隔離情況下，分三年完成各世代雜交種子之生產，第一年繁殖 TeA；第二年以玉米爲母本，TeA 爲父本，生產 F_1 世代；第三年以 F_1 爲父本，P_1、P_2 爲母本生產 F_2、BC_1 及 BC_2。每個組合之親本爲配合花期分三批種植，每批間隔 7 天，每次逢機種子各種10盆，每盆留 2 株，母本人工去雄後，以

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1908 號。
2. 本所農藝系助理研究員、助理研究員及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

父本之花粉利用自然及人工補助授粉方式來完成雜交種子之生產。完成之各世代雜交種子在1993年 1 月 3 日播種於農試所試驗田，田間採逢機完全區集設計，二重複，每重複之 P_1、P_2、F_1 世代各種 5 行；BC_1 及 BC_2 世代各種 7 行；F_2 世代種12行，行長 6 m，行株距爲75×30cm，兩粒播，出土二週後間苗，每穴僅留一株。基肥以臺肥39號複合肥料（N：P_2O_5：K_2O=12：18：12）每公頃 500kg，於播種前施入播種溝內，澆水後再播種。追肥於播種後45天，以硫酸銨（N=21%）每公頃施450 kg。生育期間視田間乾燥情形進行灌水。生育期間每小區之 P_1，P_2 與 F_1 世代各調查50株，BC_1 與 BC_2 各調查80株，F_2 世代則調查150株。所調查的性狀包括分蘗數，二次分蘗率、再生率及單株鮮重。各項性狀之調查方法如下：

一、分蘗數（tiller number）：分別於出土後40、50、60及70天時，調查單株之分蘗數，以 No./plant 爲單位。

二、二次分蘗率（percent of second tillering from main tiller）：於出土後70天調查單株上各主要分蘗芽上之第二分蘗芽數，以百分率爲單位。

三、再生率（ratoon ability）：於青割後 3 週調查各世代有再生芽之株數，以百分率爲單位。

四、單株鮮重（fresh weight per plant）：於出土後80天，由土表處割取，稱其鮮重以 g 表示。

所得之數據先進行變方分析，以平均值及變域性比較，並列出頻度分佈圖。

結果與討論

一年生大芻草 TeA（*Euchlaena mexicana,* 2n=20），爲一種具有多分蘗性之一年生牧草，植株高大強健，可作爲抗病蟲及分蘗性等特性轉移之種質，生長習性類似雜草或半野生雜草，與玉米在植株外型上相類似[6]。本研究以玉米自交系 B77 及 Pi330 分別與一年生大芻草雜交及回交，形成六種不同的遺傳質比例之世代。在田間試驗觀察的結果，一般可以看出：一年生大芻草 TeA 初期生長緩慢，分蘗數極多，與 Emerson [4] 之結果相符，且在春作不會開花與吐絲。B77 與 Pi330 玉米自交系早期生長較快，葉片較大，植株較粗壯，不具有分蘗性。B77×TeA 與 Pi330×TeA 之 F_1 植株較親本長得高，顯示株高之表現具有明顯的雜種優勢，開花與吐絲較爲整齊，F_1 植株一般具有2～6個分蘗芽且有許多可結雌穗之節位。TeA×(TeA×B77)，TeA×(TeA×Pi330) 的 BC_1 世代外型較類似大芻草，葉片較直立，具有許多分蘗芽。B77×(TeA×B77) 與Pi330×(TeA×Pi330) 之 BC_2 世代植株及果穗外觀較似玉米，分蘗數少，有2～3節位有雌穗。TeA×B77 與 TeA×Pi330 之 F_2 世代有各種不同外表型的分離，性狀變異極大。

應用自交作物的世代平均法，可獲知性狀之遺傳訊息，而其前提則 P_1、P_1 兩親本須爲同型結合體，分別具有較大及較小之表現值，其 P_1、P_2 爲100%同型結合體之同質族群；F_1 爲異質結合體之同質族群，其基因組（genome）來自父、母本各佔50%。F_2 世代爲同質與異質結合體各佔一半之異質族群所構成，具有最大之遺傳變異；BC_1 世代之基因型遺傳質75%來自 P_1 親本，爲同質與異質結合體混合所構成之異質族群；BC_2 世代各基因型的遺傳質75%來自 P_2 親本，爲同質與異質結合體混合組成之異質族群，因此，性狀變異的大小趨勢呈現 $F_2>BC_1$ 或$BC_2>P_1$ 或 P_2 或 F_1。大芻草爲異交作物，有關其分蘗性及地上部鮮重之遺傳行爲及族群基因頻度之結構尙無文獻可供參考。在沒有大芻草純質自交系的情況下，爲瞭解其遺傳行爲，乃仿自交作物之世代平均值法，進行大芻草與玉米雜交，欲藉由其後裔之表現趨勢探知其對育種行爲之影響。本試驗使用之大芻草 TeA 爲同型結合體與異型結合體所構成複雜之異質族群，因此，其雜交的 F_1 世代仍爲同型結合體與異型結合體混合之異質族群，與自交作物之 F_2、BC_1 或 BC_2 世代之異質族群之構造相類似，所以其 P_1、F_1 較 P_2 世代在分蘗性乃具有較大的變異存在。

當作青刈型牧草，一般於營養生長早期青刈，故其初期生長速率及分蘗數的多寡直接影響到產量

，同時青割後再生力的強弱對牧草的利用價值更有絕對的影響。諶[2]的結果顯示利用玉米與大芻草回交的方法可有效改良一年生大芻草之初期生長速度及分櫱數。本試驗之結果，顯示在不同生育時期各種世代之分櫱數有極顯著之差異（表1）。在TeA×Pi330 的組合，除 BC_2 外，一般隨著生育日數的增長，其分櫱數在出土後60天達到最大值，至70天並無再增加；而在同一生育期內，以 TeA 具有最多的分櫱數，然後依序爲 BC_1、F_1、F_2、BC_2，而 Pi330 則沒有分櫱芽出現。在 TeA×B77 的組合中，出土後40～50天之間的分櫱數則以 BC_1 最多，然後依序爲 P_1、F_1、F_2 與 BC_2，B77 同樣沒有分櫱芽出現；而生長至出土後60天～70天時，則以 TeA 之分櫱數較多，其次依 BC_1、F_1、F_2、BC_2 遞減，B77 同樣沒有分櫱芽。在這兩個組合中，可看出 F_1、F_2 及 BC_2 世代一般在出土後50天內其分櫱芽數即已達最大，而 TeA 及 BC_1 則於60天時可達最大分櫱芽數（分別爲 9.2 與 8.05及5.36與7.51），此結果與徐[1]在 6 月播種之結果稍有不同，可能因本試驗是在 1 月 3 日播種，正值冬季低溫，初期生長較緩慢，故達最大分櫱芽數所須之時間較長；且生長初期低溫影響其分櫱芽之產生，故其單株分櫱芽數也較少[5]。又由表 1 也可看出雜種後裔分櫱數，因雜交玉米自交系 B77、Pi330 之不同而有差異。在 TeA×B77 之各種雜種世代均比 TeA×Pi330 具有較多的分櫱數，顯示不同的玉米遺傳質對大芻草分櫱數的表現也有所影響。

由出土後60天達到最高之分櫱數之分布頻度，也可看年不同組合間之表現也有所不同。TeA×Pi330 之六個不同世代之結果如圖 1 所示，TeA 之分櫱數介於3～18之間，平均值爲9.2，CV 值爲6.0，呈現平峰之分布；而 Pi330 則完全沒有分櫱芽；F_1 組合變域範圍介於0～8，平均爲2.76個分櫱芽，CV 值爲8.2，其中以 3 個分櫱芽者佔最大比例；F_2 世代則呈現非對稱分布情形，以分櫱數較少者（0～3）佔有85%之比例，變域介於0～7之間，平均值爲1.9，CV 值爲14.4；BC_1 世代分櫱數之變域介於0～14，平均值爲5.36，CV 值爲4.4，其中以2～5個分櫱芽者佔較高的比例；BC_2 世代分櫱數之變域介於0～4之間，其平均值爲0.72，CV 值爲3.05。

TeA×B77 組合在出土後60天不同世代之分櫱數之頻度分布，如圖 2 所示。TeA 之分櫱數之變域範圍介於1～20之間，平均數爲8.05，CV 值爲6.1；B77 完全不具有分櫱芽；F_1 世代分櫱數之變域介於0～8間，以 3 個分櫱芽之個體佔有最大之百分比，平均爲3.87個分櫱芽，CV 值爲 3 ，呈現偏歪之分布；F_2 世代之分櫱數變域介於0～8間，以2～3個分櫱芽佔78%左右，平均分櫱數爲2.58個，CV 值爲7.6；BC_1 世代之分櫱數變域介於1～20，以較少分櫱芽者佔有較大的百分比，平均分櫱數爲7.50個，而 CV 值爲16.4；BC_2 世代之分櫱芽變域介於0～6，以0～2個分櫱芽之個體約佔有88%左右，平均值爲1.28個，CV 值爲7.6。綜觀上述兩個不同之組合中，TeA 均呈現具有較多的分櫱數，不同雜種後裔隨著玉米遺傳質所佔百分比的增加，其分櫱芽數呈現遞減現象，同時族群之變域範圍也變窄，顯然係由於玉米帶有不利於分櫱芽產生之遺傳基因所致。

徐[1]由根尖細胞觀察之結果，顯示在玉米與一年生大芻草染色體末端部分各有其異質區，可用來初步鑑別染色體之來源親本，另由染色體的配對，發現親本配對以10個二價體之分離頻度最高，雜交種染色體之配對也以10個二價體爲多，其次爲9Ⅱ＋2Ⅰ，亦有少數染色體橋出現。而由花粉觀察，發現雜交種之花粉可染率比親本低，可能係由於兩親之間染色體已分化，僅大部分同源，因此，染色體配對與分離時，產生不等分離及染色體橋等現象。本試驗之結果，發現玉米與二倍體一年生大芻草之 F_2 世代中，不論是 TeA×Pi330 或 TeA×B77 組合，均呈現偏向較少分櫱芽之偏歪分布，顯然與種間染色體的異質性有密切關係，因此影響其逢機分離行爲所致。

本試驗種植於1993年 1 月 3 日，於1993年 1 月12日出土，待其生長至出土後70天調查二次分櫱產生之變異，結果發現 TeA×Pi330 及 TeA×B77 兩個組合，均以親本 TeA 具有最大的二次分櫱率，其次爲 BC_1 世代，其餘世代則無二次分櫱或僅極低比例。於出土後80天進行刈割，並於青刈後 3 週調查再生率，結果呈現幾乎無再生現象，此結果與諶[2]之結果稍有不同，推測可能係在出土後80

表 1. 四個不同生育時期之平均分蘗數及其變異範圍 (No./plant)

Table 1. Mean and range of tiller number for teosinte, maize and their progenies at four growth stages.

Generation	Days after emergence							
	40		50		60		70	
	$\bar{x}\pm SE$	Range	$\bar{x}\pm SE$	Range	$\bar{x}\pm SE$	Range	$\bar{x}\pm SE$	Range
				TeA×Pi330				
P_1	3.58±0.65	9～0	4.68±0.40	10～1	9.20±0.55	18～3	8.42±1.58	18～2
P_2	0 ±0	0～0	0 ±0	0～0	0 ±0	0～0	0 ±0	0～0
F_1	2.34±0.28	6～0	2.48±0.11	6～0	2.76±0.23	7～0	2.74±0.21	7～0
F_2	1.71±0.21	6～0	1.85±0.23	6～0	1.90±0.27	8～0	1.90±0.27	9～0
BC_1	3.42±0.29	9～0	3.97±0.13	9～0	5.36±0.24	14～0	4.93±0.88	15～0
BC_2	0.87±0.28	4～0	0.81±0.25	4～0	0.72±0.22	4～0	0.91±0.02	4～0
$LSD_{(0.05)}$	0.80	—	0.47	—	0.82	—	0.79	—
				TeA×B77				
P_1	4.00±0.09	10～0	5.10±0.26	12～0	8.05±0.50	20～1	8.63±0.10	20～1
P_2	0 ±0	0～0	0 ±0	0～0	0 ±0	0～0	0 ±0	0～0
F_1	3.56±0.31	7～0	3.79±0.13	7～0	3.78±0.11	7～0	3.78±0.11	7～0
F_2	2.41±0.22	8～0	2.61±0.13	9～0	2.58±0.20	8～0	2.58±0.20	8～0
BC_1	5.41±1.16	16～0	6.50±1.42	17～1	7.51±1.23	20～1	7.83±0.68	22～1
BC_2	1.28±0.12	6～0	1.32±0.05	6～0	1.28±0.10	6～0	1.27±0.11	6～0
$LSD_{(0.05)}$	1.36	—	1.37	—	1.39	—	0.82	—

表 2. 出土後80天之單株地上部鮮重(g)及其變異範圍

Table 2. Mean and range of above ground fresh weight(g) at eighty days after emergence.

Generation	$\bar{x}\pm SE$	Range
	TeA×Pi330	
P_1	1,071.4±100.8	2,430～210
P_2	628.9± 35.8	1,890～210
F_1	1,262.9± 51.1	2,980～260
F_2	956.3±116.7	2,700～160
BC_1	1,151.2± 86.0	2,650～150
BC_2	857.7± 76.1	1,930～120
$LSD_{(0.05)}$	211.3	—
	TeA×B77	
P_1	1,040.7± 93.5	2,450～220
P_2	620.0± 32.6	1,120～220
F_1	1,217.6± 35.1	3,870～250
F_2	990.5±111.3	3,800～160
BC_1	1,469.6± 79.2	3,600～100
BC_2	908.1± 74.7	2,220～140
$LSD_{(0.05)}$	221.7	—

天青刈，此時大蒭草莖稈老化加上留樁太短，以致於無法產生再生芽所致。

一年生大蒭草 TeA 要當作青刈型牧草，除了分蘖數、再生力要強外，乾草產量也極爲重要。謝與盧[3]結果顯示，一年生大蒭草 TeA 與玉米自交系 B77 之 F_1 雜交種在乾物重具有明顯之雜種優勢存在。本試驗顯示不論是 TeA×Pi330 或 TeA×B77 組合，在出土後80天之平均單株鮮重，以 F_1 及 BC_1 具有較大的單株鮮重，其次爲 TeA，再次爲 F_2 及 BC_2，最低者爲玉米自交系。由其變域範圍可知在 F_1、F_2 及 BC_1 後代中存在著比 TeA 具有較大單株鮮重之植株（表2），因此可利用 F_1 地上部鮮重具有明顯之雜種優勢於青刈牧草之生產。另一方面利用輪迴選種法來改良一年生大蒭草之分蘖數與單株鮮重，以提昇其利用價值，也是值得進一步探討的途徑之一。

引用文獻

1. 徐麗雲。1988。玉米、大蒭草及其雜交種農藝性狀與細胞遺傳學之研究。中華農學會報　新141：19—31。
2. 諶貽訓。1976。大蒭草改良試驗。畜產研究19：131—134。
3. 謝光照、盧煌勝。1995。玉米、大蒭草及其雜交種之分蘖性、再生能力與一些重要農藝性狀之研究。中華農業研究 44：93—100。
4. Emerson, R. A. 1924. Control of flowering in teosinte. J. Hered. 15：41—48.
5. Smith, J. S. C., M. M. Goodman, and R. N. Lester. 1981. Variation within teosinte. I. Numerical analysis of morphological data. Econ. Bot. 35：187—203.
6. Wilkes, H. G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. Bussey Inst., Harvard Univ., Cambridge, MA.

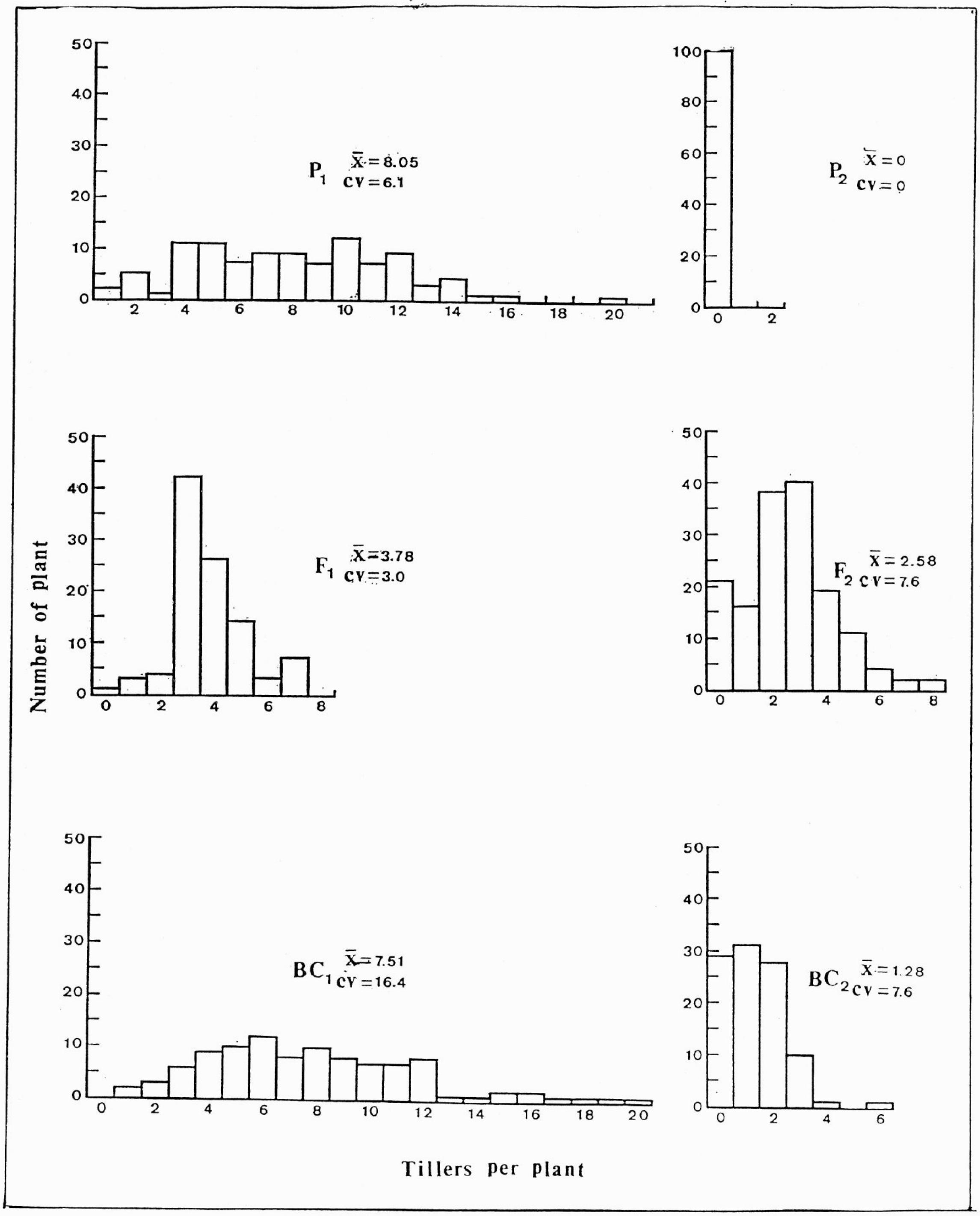

圖 1. 出土後60天 TeA×Pi330 各不同世代分蘗數之頻度分布

Fig. 1. The frequence of distribution of tiller number at sixty days after emergence of TeA, Pi330 and their progenies.

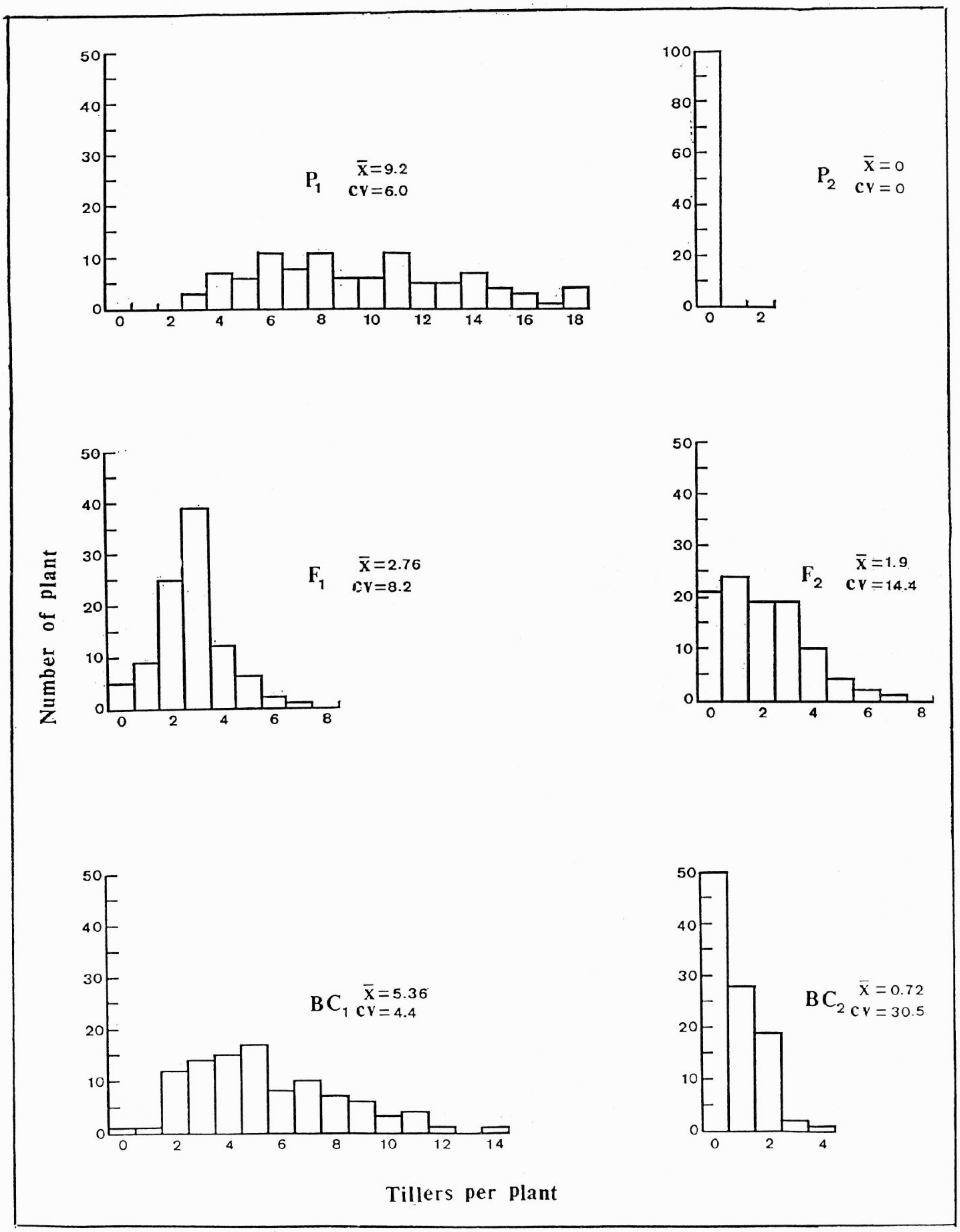

圖 2. 出土後60天 TeA×B77 各不同世代分蘗數之頻度分布

Fig. 2. The frequence of distribution of tiller number at sixty days after emergence of TeA, B77 and their progenies.

46-3-4

Studies on the Tillering Behavior and Above Ground Fresh Weight of Maize and Annual Diploid Teosinte and Their Progenies[1]

Guang-Jauh Shieh, Chan-Lee Ho and Hung-Shung Lu[2]

Summary

Annual diploid teosinte TeA (*Euchlaena mexicana*, 2n=20), maize inbred lines B77, Pi330 (*Zea mays*, 2n=20) and their progenies were used to investigate their tillering behavior and above ground fresh weight. The results are summarized as follows: Tiller number of TeA increased following by growth stage, and arrived maximum at sixty days after emergence. TeA and BC_1 had more second tillering from main tiller at the seventy days after emergence. As the proportion of maize germplasm increased, then the tiller number decreased in their progenies. F_1 hybrids of maize and TeA had heterosis in above ground fresh weight, and can be directly used as forage production.

Key words : Annual diploid teosinte, Maize, Tillering, Heterosis.

1. Contribution No. 1908 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant Agronomist, Assistant Agronomist and Senior Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(3)：249～261（1997）

山藥臺農 2 號之生產促進[1]

劉新裕[2]　張同吳[2]　王昭月[3]　徐原田[2]　胡敏夫[2]

摘要：山藥臺農 2 號於1996年命名，隨即於1997年推廣至14鄉鎮地區，推廣頗爲迅速之因，與其兼具高產、質優等特性之表現甚爲穩定有關。雖然臺農 2 號之產量甚高且穩定，由1989至1992年在七地區之平均公頃產量達26.9t/ha，但不同種植方式、栽培介質、施肥種類、種植期、生長期及行株距等因素，對其生產表現都有或多或少之影響。其中不同施肥種類、種植方式與栽培介質三因素之影響頗大，利用如甘藷般之種植方式栽培，配合化學肥料及少量牛糞肥，臺農 2 號之平均公頃產量可達32.7t/ha；利用50cm 長度之半圓形塑膠穴管栽培臺農 2 號，管內介質爲牛糞肥：砂：田土＝1：1：1時，其平均公頃產量爲27.6t/ha；若於半圓形塑膠穴管內，先換塡蔗渣：牛糞肥＝2：1之特定介質，再栽培臺農 2 號，則其平均公頃產量可達41.3t/ha；若於半圓形塑膠穴管內，除了先塡滿蔗渣：牛糞肥＝2：1之介質外，穴管外之栽培田區另混施10t/ha之牛糞肥，之後再栽培臺農 2 號，則其平均公頃產量高達63.2 t/ha。在促成豐產之外，臺農 2 號塊莖利用涼溫（17±1.5°C）網袋貯藏方式，可以貯藏26週，此將有效解決臺農 2 號之貯藏問題，延長塊莖之利用期限，並增加塊莖利用之可行性。

關鍵詞：山藥、生產、貯藏。

前　言

山藥爲薯蕷科（Dioscoreaceae）薯蕷屬（*Dioscorea*）之蔓性根莖類植物，亦爲可供藥用或保健用之重要作物之一[5-8,10]，具高產及富含營養之特色。薯蕷屬植物除了係吾人糧食中澱粉及蛋白質之重要供源外，在傳統醫藥方面，則係藥用植物相當集中與重要之一屬。在薯蕷屬山藥植物中，有不少物種含 diosgenin[10]成分，可供利用來生產口服避孕藥、腎上腺皮質賀爾蒙、性賀爾蒙及其他多種藥物，重要性不言可喩。山藥由於分佈極廣，遍及熱帶、亞熱帶及其他地區，物種十分繁雜[4,14,22,27]，栽培生產方式亦因品種而異[1,24]。

山藥被栽培與利用之歷史極早，如「山海經」、「本草衍義」、「圖經本草」、「新修本草」、「本草綱目」及「齊民要術」等本草古籍均有記載；最早之本草藥典「神農本草經」且列山藥爲上品藥材[7]。山藥之利用部位爲塊莖（擔根體），有滋養、強壯及止瀉功效，爲常用藥用與保健用生藥材料[5-7,10]。全球山藥之年產量在1991年約爲24×10^6公噸[28]，爲熱帶地區生產量僅次於樹薯及甘藷，而營養價值則有超過之最重要根莖作物[21,25]，亦爲國際性重要糧食作物之一。由於世界人口仍持續增加，人口成長愈快，糧食益形不足，對於根莖作物，尤其是具有高產量及高品質潛力之山藥之需求似將愈大，因爲在單位時間及單位面積內，根莖作物及甘蔗同爲熱量生產最有效率之作物種類。及早選育山藥優良新品種，建立其栽培技術，同時開發多元化新產品，似極符合目前正發展之少量多樣化農產

1. 臺灣省農業試驗所研究報告第 1909 號。
2. 本所農藝系研究員、助理、助理研究員、助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所作物種原室助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

品之農業政策，有助提高農民所得。

山藥由於栽培歷史悠久，許多種原係由原產地之品種演變而來，故種類很多，品系繁雜，形態變異頗大，生產力之差異亦大。在全球衆多山藥種原中，最具生產力的為 *D. alata L.*、*D. esculenta*（Lour.）Burk.、*D. rotundata*（L.）Poir.、*D. cayenensis* Lam. 及 *D. bulbifera* L. [29]。此外，世界上仍有不少其他重要山藥種原，如 *D. dumetorum* Pax.、*D. opposita* Thunb.、*D. pentaphylla* L. 及 *D. trifida* L. 等[26,30–32]。

臺灣較常見之山藥品種，多源自下列五種：(1)大薯又稱田薯（*D. alata*），為所有山藥物種分佈最廣者，現栽培於非洲、東南亞、中南美洲及歐洲；(2)長薯又稱家山藥（*D. batatas*），原產大陸，較為耐寒，可供藥用；(3)山薯又稱日本山藥（*D. japonica*），原產日本，現栽培於大陸、日本及東南亞一帶；(4)條薯又稱紫田薯（*D. alata* L. var. *purpurea*），現栽培於臺灣中部；(5)恆春山藥又稱戟葉田薯（*D. doryophora*），原產於臺灣恆春半島一帶。

綜論臺灣薯蕷屬14種植物之形態與生產力，以(1)大薯（*D. alata* L.）之產量較豐，且栽培面積較大。其植株特徵在其莖及葉柄有稜翼或四稜線，此亦為其種名取名原因，*alata* 即為「有翼的」之意。葉一般為對生。擔根體（即薯塊或塊莖）褐皮、肉白色。山藥臺農 1 號及臺農 2 號即屬 *D. alata* 之二優良栽培品種，粘度高且質地細膩為其塊莖之特色，兩者同具很高的生產能力[1–2,17–23]。(2)紫田薯（*D. alata* L. var. *purpurea*（Roxb.）M. Pouch.）主要產地在南投與嘉義兩縣，約有100ha以上之栽培面積。其與大薯之區別，在於稜翼、葉柄基部、近擔根體之莖蔓及嫩葉帶有紫色，且擔根體外皮及肉部為紫紅色。正由本所選育中之紫玉血薯品系（70R16），塊莖營養品質頗高，產量亦不差。除上述大薯及紫田薯一般較具高產潛力之外，臺灣其他薯蕷屬植物之生產力不一，依品種與栽培管理程度而異，其莖及葉柄既無稜翼亦無稜線，其中具 3 出葉、互生的為(3)白薯莨（*D. hispida* Dennst.）。具單葉，互生，莖多刺，全株有毛的為(4)刺薯蕷（*D. esculenta*（Lour.）Burk. var. *spinosa*（Roxb.）Knuth）。具單葉，對生偶互生，莖無刺，葉形橢圓形或長橢圓形，表面細脈不明顯的為(5)大青薯（*D. benthamii* Prain et Burk.）。具單葉，對生偶互生，葉形卵狀、三角形，莖無刺的為(6)家山藥（*D. batatas* Decne.）。具 3 裂狹窄單葉互生，莖無刺的為(7)戟葉田薯或稱恆春山藥（*D. doryophora* Hance）。具單葉、全緣、廣卵形、莖無刺，果實橢圓形的是(8)黃藥（*D. bulbifera* L.）。具單葉稍全緣三角形，莖無刺，雌株花序為單一或叢生之穗狀花序，果實卵心臟形的是(9)南華薯蕷（*D. collettii* Hoop. f.）。除了上述 9 種之外，臺灣之薯蕷屬植物尚有(10)蘭嶼田薯（*D. cumingii* Prain et Burk.）、(11)臺灣薯蕷（*D. formosana* Knuth）、(12)日本山藥（*D. japonica* Thunb. Fl.）、(13)基隆山藥（*D. japonica* Thunb. var. *pseudojaponica*（Hay.）Yamam.）及(14)細葉野山藥（*D. japonica* Thunb. var. *oldhamii* Uline et Knuth）[15,16]。

臺灣之氣候土質很適宜山藥生長，栽培管理簡單，且病蟲害不多；以往產量不高之因，與未能慎選品種之關係很大。山藥臺農 1 號及臺農 2 號具有田薯（*D. alata L.*）之高產質優特性，同屬於生育期為8—9個月之晚熟型白肉山藥。其中臺農 2 號源自南投之地方品系70*W*04，其農藝性狀及產量表現，比臺農 1 號及其他大多數山藥品系為佳，能適應海拔850*m* 以下之生長環境，在平地之產量甚高且穩定，在較高海拔及強風等不利地區，表現亦較對照品種為佳。臺農 2 號在塊莖重量、田間採收率及塊莖產量之穩定性表現，亦較臺農 1 號為優，此顯示臺農 2 號為兼具高產、質優且穩定性甚佳之山藥新品種，值得推介農民採用。由1989—1992年共四年區域試驗之結果可知，臺農 2 號之平均公頃產量達26.58t/ha，較其他對照品系為高，如高於臺東地方品系（70*W*03）約64%、埔里品系（70*R*01）約104%及臺農 1 號約 8 %。在一般營養品質、加工特性以及耐炭疽病方面，臺農 2 號之表現亦相當優異。臺農 2 號塊莖皮薄肉厚，富含蛋白質（13.3%）與澱粉，另具礦物元素 *P*、*K*、*Ca*、*S*、*Mg* 及微量元素 *Fe*、*Cu* 及*Zn*等。此外，其塊莖肉質細膩味美、粘度甚高、顏色潔白、且不易

褐化，深具食用、加工用[12]及保健價值。故臺農２號於1996年命名後，即於1997年推廣至花蓮、南投、嘉義等14鄉鎮地區，推廣頗爲迅速之因，與其兼具高產、質優且特性之表現甚爲穩定有關[20,23]。

針對山藥產業生產力之促進與加工利用技術之提升，下列幾點建議或許值得探討與參考：(1)在品種方面，宜選育如臺農２號般豐產之品種，或其他較早熟之品種，以調節產期。由於山藥係長期作物，生育期超過半年，應避免產量過低，或產期過於集中，以致影響農民收益。(2)在省工及有效促進生產方面，宜探討利用塑膠布覆蓋，以控制雜草；加施有機肥料，以增進產量及品質；或探討採用如塑膠穴管[11]配合有機介質與有機肥料之栽培方式之可行性；或探討最適種植時期、行株距等，以促進生產。(3)在採收與貯存方面，應細心使塊莖不受損傷，如此即不易感染病菌，而致薯塊腐壞。新鮮塊莖之貯存條件亦宜加強探討，以延長貯存期限及增加塊莖利用之可行性。(4)開發多元化加工產品，因加工品對原料之需求量較大，較易貯放，且附加價值較高，可提高農民收益。

新鮮塊莖若能長期貯存，將有助延長山藥之利用期限與增加利用可行性。貯藏溫度是否適當，應爲貯藏成敗之一大關鍵。如利用網袋在14°C恒溫箱內貯藏山藥之塊莖，二種白肉山藥臺農１號及巴西品系之塊莖，雖在第14或23週萌芽，明顯較17°C恒溫貯藏者延後5—6週，貯藏壽命可達34週，但其等塊莖肉部之腐爛率高達33%，損失頗大；紅肉山藥埔里地方品系70*R*01貯放於14°C下雖不萌芽，但至27週即有寒害發生。於17°C恒溫箱貯藏上述二種白肉山藥塊莖，至25週時薯塊仍完整良好；於17°C下，70*R*01雖在18週萌芽，但萌芽率僅10%；三者可繼續貯藏至26週或更久。在室溫貯藏下，三種山藥皆在第4—9週萌芽，至13週時芽條長達15*m* 以上，失去商品利用價值。故17°C似爲 *D. alata* 山藥較適宜之塊莖貯藏溫度[3]。恆春山藥（*D. doryophora*）或基隆山藥（*D. japonica* var. *pseudo-japonica*）之塊莖貯藏溫度則可低至5°C[1]。

臺灣之氣候土宜很適合發展山藥，一般而言，若能選擇適當品種如高產之臺農２號等，且管理得宜，則收量與收益將不至太差。惟民衆至今對於山藥仍缺認識，其藥材且大多仰賴進口。早日達到國產山藥之自給自足，應爲農業研究單位努力之目標之一。本研究之目的即在探討影響山藥臺農２號生產之栽培因素，如種植方式、栽培介質、施肥種類、塑膠布覆蓋、種植時期、行株距等，以促進生產外形美觀、更豐產與優質之塊莖，加速推廣及促銷山藥，以加深一般大衆對山藥之認知共識與利用程度；另一方面，藉探討臺農２號塊莖之最適貯存條件，以延長新鮮塊莖之貯存期限及增加利用機會。本研究所得資料，將提供農友發展山藥之參考。

材料與方法

一、材料

以三個山藥品種系之種薯爲材料，包括二白肉山藥品種：臺農１號與臺農２號，以及紅肉山藥品系70R01之種薯，種薯大小約50—75g。

二、方法

(一)不同種植方式及不同穴管介質對山藥臺農２號塊莖性狀與產量之影響：

1995年於本所農場進行不同種植方式試驗及不同穴管介質試驗。不同種植方式分爲一般及塑膠穴管（天溝）兩種。於田間利用一般方式種植時，作畦方式和種植甘藷相似，田區化學肥料用量爲硫銨430kg/ha、過磷酸鈣330kg/ha、氯化鉀150kg/ha，並加施牛糞肥2,000kg/ha；於整地時，先混施牛糞肥、1/3量硫銨及全量之磷肥及鉀肥，另兩次氮肥量施於萌芽後２個月及４個月。利用塑膠穴管種植時，穴管爲半圓形，長50cm，周長20cm，以繩綁緊使上方開口約3cm 寬，管兩側距前端約20cm 處各打洞６個，洞徑1.2cm，洞距5cm，其內先裝填不同穴管介質：(1)牛糞肥：砂：田土＝1：1：1之混合介質，或(2)牛糞肥：蔗渣＝1：2，再於前端種植薯塊；除了前述兩種穴管介質處理之外，第三種介質處理爲於塑膠穴管內亦填滿蔗渣：

牛糞肥＝2：1之介質，惟於種植前，先於栽培田區內，另增施10t/ha 之牛糞肥，之後再種植臺農 2 號。穴管種植時，臺農 2 號種薯置放於與地表僅有10^{0}斜度之天溝上，距穴管頂端約5 cm，種後覆土並開溝作畦；前述所有處理之行株距皆爲100×30cm，行長4m，試驗設計爲 RCBD，三重複。種植後之田間管理悉依本所建議相關方式進行[23]。調查項目爲單株塊莖收量、塊莖之粒數、長度、寬度、厚度及塊莖公頃產量等。

㈡不同肥料種類對山藥塊莖產量之影響：

1995年於本所農場進行不同肥料種類試驗，試驗材料取用臺農 1 號、臺農 2 號及70R01之種薯，行株距100×30cm，每一品種系三行植，行長4m，試驗設計爲 RCBD，三重複。於田間利用一般方式種植，採用三種不同肥料種類，其中甘雨特肥（主成分爲45％chicken manure）及牛糞肥（cattle manure）爲有機肥料，另一種爲化學肥料（N：P：K＝90：60：90kg/ha）；肥料用量在甘雨特肥區爲5,000kg/ha，牛糞肥區爲5,000kg/ha，化學肥料用量爲硫銨430kg/ha、過磷酸鈣330kg/ha 及氯化鉀150kg/ha。肥料之施用方式在甘雨特肥區及牛糞肥區爲一次施用，直接放入畦上植行之中央開溝處，深度約20cm；化學肥料區則於整地時，混施1/3量硫銨及全量之磷肥及鉀肥，另兩次氮肥量施於萌芽後 2 個月及 4 個月。種植後之田間管理悉依本所建議方式進行[19,23]。調查項目爲單株塊莖收量及塊莖公頃產量等。

㈢塑膠布覆蓋對山藥塊莖性狀與產量之影響：

1994年於本所農場進行塑膠布覆蓋試驗，試驗材料取用臺農 1 號、臺農 2 號及70R01之種薯，行株距100×30cm，每一品種系三行植，行長4m，試驗設計爲 RCBD，三重複。於田間利用一般方式種植，田區化學肥料用量爲硫銨430kg/ha、過磷酸鈣330kg/ha、氯化鉀150kg/ha，試驗分爲⑴覆蓋 PE 塑膠布，及⑵不覆蓋塑膠布，但施以人工除草，共二處理。種植後之田間管理亦依本所建議方式進行[19,23]。調查項目爲塊莖公頃產量等。

㈣不同種植時期對山藥臺農 2 號塊莖性狀與產量之影響：

1994年於本所農場進行不同種植時期試驗，試驗材料取用臺農 2 號之種薯，種薯大小約75 g，行株距100×30cm，三行植，行長4m，試驗設計爲 RCBD，三重複。三個種植期處理爲3月20日、4月20日及5月20日。於田間利用一般方式種植，田區化學肥料用量爲硫銨430kg/ha、過磷酸鈣330kg/ha、氯化鉀150kg/ha，種植後之田間管理亦依本所建議相關方式進行[23]。調查項目爲單株塊莖收量、塊莖之粒數、長度、寬度、厚度、田間採收率及塊莖公頃產量等。

㈤不同行株距對山藥臺農 2 號塊莖性狀及產量之影響：

1994年於本所農場進行臺農 2 號行株距試驗，試驗材料取用山藥臺農 2 號之種薯，種薯大小約75g。不同行距爲80、100及120（cm），株距同爲30cm；不同株距爲20、30及40（cm），行距同爲100cm，上述處理皆爲三行植，行長4m，試驗設計爲 RCBD，三重複。於田間利用一般方式種植，田區化學肥料用量爲硫銨430kg/ha、過磷酸鈣330kg/ha、氯化鉀150kg/ha，種植後之田間管理悉依本所建議相關方式進行[23]。調查項目爲株高、葉長、葉寬、節間長、單株塊莖收量、塊莖之粒數、長度、寬度及塊莖公頃產量等。

㈥不同貯藏溫度對山藥塊莖萌芽與失重之影響：

1995年於本所特作室進行塊莖貯藏試驗，試驗材料取用臺農 1 號及臺農 2 號之完整塊莖；二種貯藏溫度爲：⑴室溫：溫度爲20±8°C，RH80－90％，RH 爲自動溫濕度儀記錄之數值，貯藏期 6 個月，即26週。⑵涼溫：於17°C恆溫箱中進行塊莖貯藏，溫度爲17±1.5°C，RH30－40％，貯藏期26週。每一處理每一品種塊莖數爲 5 粒，置放於網袋中，三重複。調查項目爲塊莖重量、失重率、塊莖開始萌芽期、全部萌芽期、萌芽數目與長度等。

結　果

一、不同種植方式及不同穴管介質對山藥臺農2號塊莖性狀與產量之影響

山藥臺農2號於1995年四月種植，經過4個月在田間生長後，新塊莖開始形成，並持續進行充實、膨大及整形之生長過程。於田間利用一般方式，即和甘藷相似之作畦方式，種植生長4至8個月，即當年八至十二月，臺農2號單株塊莖收量依次分別爲145—980g，其單株塊莖粒數介於1.7—2.3粒，長度介於15.6—28.5cm，寬度介於3.0—6.8cm，厚度介於26.3—67.0mm，塊莖公頃產量介於4.83—32.63t/ha（表1）。

表 1. 不同種植方式對山藥臺農2號塊莖性狀與產量之影響

Table 1. Effects of different planting methods (normal or plastic pipe) on the tuber characteristics and yield of yam Tainung No.2

Month	Planting method	Weight (g)	Number (No.)	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)	Yield (t/ha)
8	Normal	145a[z]	1.7a	15.6a	3.0a	26.3a	4.83a
	Pipe[y]	87b	1.0b	12.4b	2.3a	25.9a	2.90b
9	Normal	191b	1.7a	15.8b	3.6a	27.5b	6.36b
	Pipe	245a	1.0b	24.5a	2.8a	32.8a	8.16a
10	Normal	633a	2.3a	26.3a	4.8a	41.4a	21.10a
	Pipe	377b	1.0b	26.4a	5.2a	38.6a	12.55b
11	Normal	805a	2.3a	26.0b	5.4a	48.3a	26.81a
	Pipe	595b	1.0b	32.6a	5.0a	39.9b	19.81b
12	Normal	980a	2.3a	28.5b	6.8a	67.0a	32.63a
	Pipe	827b	1.0b	39.2a	6.0a	42.1b	27.54b

[z] Means followed by the same letter within the column of each growth month are not significantly different at 5% level by the LSD test.

[y] Cultivating with half plastic pipe and mixed media of soil : sand : cattle manure=1 : 1 : 1.

栽培方式改爲穴管種植，且管內介質爲牛糞肥：砂：田土=1：1：1時，臺農2號由八至十二月之單株塊莖收量介於87—827g，除了九月穴管之245g 較高外，其他皆低於一般栽培法；穴管之單株塊莖粒數始終維持1粒；而其塊莖長度除了八月（12.4m）小於一般栽培法外，自九月起即超越後者，於十二月時超長達10.7cm。在塊莖寬度方面則以穴管者略小，惟差異都不顯著；在塊莖厚度方面，穴管者自十月起即較薄，在十二月時相差幾達25mm；在塊莖公頃產量方面，除了九月穴管之產量(8.2t/ha）較高外，餘皆以一般栽培方式者較高（表1）。惟就採收塊莖薯形之整齊程度（一般栽培者爲遠端分歧如掌形）、薯皮之光滑、田間採收之省工以及塊莖採收破損率而言，穴管栽培之臺農2號都佔優勢，其十二月時之產量可達27.5t/ha，而採收破損率爲0%；一般栽培方式塊莖產量雖達32.6t/ha，但採收破損率超過35%，穴管栽培確具栽培參考價值。

栽培方式同爲穴管種植，而管內介質改爲牛糞肥：蔗渣=1：2時，臺農2號在田間生長至第4個月時，尙無新塊莖形成；生長5—8個月之單株塊莖收量介於75—1,240g。其單株塊莖粒數亦始終維持1粒。生長至第8個月之塊莖平均長度爲35cm；塊莖寬度及厚度分別爲110及54.1mm；塊莖公頃產量爲41.3t/ha（表2），較前述介質（牛糞肥：砂：田土=1：1:1）之產量高出約50%。

表 2. 不同穴管介質對山藥臺農 2 號塊莖性狀與產量之影響

Table 2. Effects of different mixed media on the tuber characteristics and yield of yam Tainung No.2

Media type	Weight (g)	Humber (No.)	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)	Yield (t/ha)
A[z]	827c[y]	1	39.2a	6.0c	42.1b	27.5c
B	1,240b	1	35.0a	11.0a	54.1b	41.3b
C	1,898a	1	44.0a	9.0ab	84.9a	63.2a

[z]A：cultivating with half plastic pipe and mixed media of soil, sand, and cattle manure with a ratio of 1：1：1.
B：cultivating with half plastic pipe and mixed media of sugar-cane waste and cattle manure with a ratio of 2：1.
C：in addition to cultivating with half plastic pipe and mixed media of sugar-cane waste and cattle manure, 10t/ha of cattle manure was mixed in the plot soil before planting.
[y] Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by the LSD test.

若於半圓形塑膠穴管內，除了先填滿蔗渣：牛糞肥＝2：1之特定介質外，塑膠穴管外之栽培田區先另混施10t/ha 之牛糞肥，之後再栽培臺農 2 號。臺農 2 號在田間生長第4—8個月之單株塊莖收量介於100—1,898g。其單株塊莖粒數亦始終維持1粒。生長至第 8 個月之塊莖平均長度爲44cm；塊莖寬度及厚度分別爲90及84.9mm；塊莖公頃產量高達63.2t/ha，分別爲前述介質牛糞肥：砂：田土＝1：1：1及牛糞肥：蔗渣＝1：2之產量之230%及153%。由表 2 結果可知，穴管介質改爲牛糞肥與蔗渣，以及配合增施10t/ha 之牛糞肥，有顯著促進臺農 2 號塊莖產量之效果（表 2）。

二、不同肥料種類對山藥塊莖產量之影響

不同肥料種類對山藥單株塊莖收量之影響頗大，牛糞肥可促進山藥塊莖每株收量重達0.84kg，其次爲甘雨特肥之0.83hg，兩者差異不顯著，但都顯著比化學肥料區每株之0.72kg 爲高。比較三種參試山藥品種系單株塊莖之平均收量，以臺農 2 號最高，每株達0.99kg，臺農 1 號次之，爲0.81kg，70R01只有0.58kg，三者間差異達顯著水準（表 3）。不同肥料種類對山藥塊莖產量之影響亦大，以牛糞肥促進臺農 2 之產量達到40.25t/ha 爲最高，其次爲甘雨特肥區臺農 2 號之33.64t/ha 及牛糞肥區臺農 1 號之33.34t/ha，以上三者間之差異不顯著；在三種肥料種類下70R01之表現最差，牛糞肥對70R01之產量並無促進作用，只有17.79t/ha（表 4）。

表 3. 不同肥料種類對山藥單株塊莖平均收量之影響

Table 3. Effect of various fertilizers on tuber weight per plant (kg/plant) of three yam genotypes

Genotype	45% Chicken manure	NPK[z]	Cattle manure	Mean
70R01	0.65c[x]	0.59c	0.51c	0.58c
Tainung No.1	0.80b	0.74b	0.89b	0.81b
Tainung No.2	1.03a	0.83a	1.12a	0.99a
Mean	0.83a[y]	0.72b	0.84a	

[z] NPK：compound fertilizer, N：P:K=90：60：90kg/ha.
[y] Means followed by the same letter within the row are not significantly different at 5% level by LSD test.
[x] Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by LSD test.

表 4. 不同肥料種類對山藥塊莖平均公頃產量之影響

Table 4. Effect of various fertilizers on tuber yield (t/ha) of three yam genotypes

Genotype	45% Chicken manure	NPK[z]	Cattle manure
70R01	24.83cde[y]	20.77de	17.79e
Tainung No.1	30.73bc	29.67bc	33.34ab
Tainung No.2	33.64ab	27.87bcd	40.25a

[z] NPK : compound fertilizer, N : P:K=90 : 60 : 90kg/ha.
[y] Means followed by the same letter within all rows and columns are not significantly different at 5% level by LSD test.

三、塑膠布覆蓋對山藥塊莖產量之影響

PE 塑膠布覆蓋與否對山藥塊莖產量有顯著之影響。比較三種山藥品種系在覆蓋區內之平均產量，以山藥臺農 2 號最高，達36.14t/ha，約高出不覆蓋區14.0%，臺農 1 號產量爲32.41t/ha，較不覆蓋區高出7.7%，紅肉品系70R01之產量雖較低，但較不覆蓋區之增產率最大，達31.5%。綜合比較覆蓋區及不覆蓋區山藥公頃產量，以臺農 2 號爲最高，達33.92t/ha，其次爲臺農 1 號之31.25t/ha，70R01之產量最低 (21.14t/ha)，前二者之差異不顯著，惟皆顯著高於後者。在覆蓋區內三種山藥之平均產量爲30.85t/ha，遠較不覆蓋區之26.68t/ha 爲高，增產率達15.6%，差異顯著(表 5)。

表 5. 塑膠布覆蓋對山藥塊莖產量 (t/ha) 之影響

Table 5. Effect of PE plastic cov covering on the tuber yield (t/ha) of three yam genotypes

Genotype	Cover	Non-cover	Mean
70R01	24.01b[y]	18.26b	21.14b
Tainung No.1	32.41a	30.09a	31.25a
Tainung No.2	36.14a	31.69a	33.92a
Mean	30.85a[z]	26.68b	

[z] Means followed by the same letter within the row are not significantly different at 5% level by LSD test.
[y] Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by LSD test.

四、不同種植時期對山藥臺農 2 號塊莖性狀與產量之影響

山藥一般均有低溫休眠特性，山藥臺農 2 號亦然，於每年三月或四月氣溫升高時，臺農 2 號塊莖即開始萌芽，所以一般應於 3 月或 4 月種植，此時不但溫度逐漸上升，且降雨量亦轉多，將較有利其生長發育。於臺中地區進行三個種植時期對山藥臺農 2 號塊莖生產之影響結果可知，愈晚種植時 (5 月) ，塊莖粒數雖然可增加，達3.8粒，但其塊莖平均長度則顯著較爲短小；在單株塊莖收量方面，4 月種植之收量爲801g，分別爲 3 月及 5 月者之128%及150%；在公頃產量方面， 3 月、 4 月及 5 月分別爲20.9t/ha、26.7t/ha 及17.8t/ha，以 4 月最高。由此可知，臺農 2 號之種植時期以 4 月較宜 (表6) 。

表 6. 不同種植時期對山藥臺農 2 號塊莖性狀與產量之影響（臺中）

Table 6. Effect of different planting dates on the tuber characteristics and yield of yam Tainung No.2 at Taichung area

Planting date	Tuber				Survival (%)	Yield (t/ha)
	Number (No.)	Length (cm)	Width (cm)	Weight (g)		
Mar.	2.0b[z]	22.8a	8.78a	626ab	100	20.85ab
Apr.	2.8ab	23.5a	7.79a	801a	100	26.67a
May	3.8a	18.1b	7.92a	535b	100	17.82b

[z] Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by LSD test.

五、不同行株距對山藥臺農 2 號塊莖性狀及產量之影響

比較不同行距對山藥臺農 2 號植株生長與塊莖生產之結果可知，行距愈大（120cm）時，山藥臺農 2 號之株高、葉長、葉寬及節間長度有逐漸增加之趨勢；行距愈大時，其塊莖平均寬度亦較大；在塊莖收量及公頃產量方面，則以100cm 組較高，分別達1,027g 及34.19t/ha，80cm 組及120cm 組之產量依次僅爲28.18t/ha及25.66t/ha（表 7）。

比較不同株距對臺農 2 號植株生長與塊莖生產之結果可知，株距較小（20cm）時，臺農 2 號之株高、葉長、葉寬及節間長度有逐漸減小之現象；較小株距之塊莖平均長度、寬度及重量亦較小，只粒數略增。在塊莖收量方面以40及30cm 組較高，分別達1,369g 及1,227g；在公頃產量方面則以20及30cm 組較高，產量依次達42.50t/ha及40.85t/ha，差異不顯著，但40cm 組僅爲34.21t/ha，與前二組之差異顯著。綜合上述結果可知，栽培臺農 2 號之行株距以100×30cm 較爲適當（表 7）。

表 7. 不同行株距對山藥臺農 2 號植株生長及塊莖性狀與產量之影響

Table 7. Effect of plant spacing (cm) on the plant growth and tuber characteristics and yield of yam Tainung No.2

Density treatment	Plant height (cm)	Leaf		Inter-node (cm)	Tuber				Yield (t/ha)
		Length (cm)	Width (cm)		Number (No.)	Length (cm)	Width (cm)	Weight (g)	
Spaces between rows									
80X30	231b[z]	11.5a	7.8a	11.3a	1.7a	26.0a	8.18a	677.5b	28.18ab
100X30	264ab	12.6a	8.8a	12.1a	1.8a	26.4a	8.49a	1,026.8a	34.19a
120X30	309a	12.8a	9.1a	13.5a	1.8a	24.3a	9.31a	926.5a	25.66b
Spaces between plants									
100X20	242b	11.7a	7.5a	12.3a	2.2a	25.8b	7.63b	850.0b	42.50a
100X30	250ab	14.7a	8.3a	12.7a	1.8a	26.6b	8.63b	1,226.7a	40.85a
100X40	314a	12.7a	9.0a	12.7a	2.0a	31.0a	9.71a	1,368.5a	34.21b

[z] Means followed by the same letter within each column of each density treatment are not significantly different at 5% level by LSD test.

六、貯藏溫度對山藥塊莖萌芽與失重之影響

比較兩種溫度處理在26週貯藏期間內，對山藥臺農1號及臺農2號塊莖萌芽與失重之影響，結果顯示，涼溫貯藏（17±1.5°C）可明顯延後臺農1號及臺農2號塊莖之開始萌芽期，在涼溫下臺農1號及臺農2號塊莖於第6及8週萌芽，分別晚於室溫貯藏者5及7週。臺農2號及臺農1號在涼溫下到達全數（100%）萌芽所需時間，爲第13及15週，分別晚於室溫貯藏者10及11週。涼溫下貯藏至26週時，塊莖之芽體數目與長度，在臺農2號及臺農1號各爲2.4及6.3芽，與0.2及2.9cm；室溫下貯藏至5週時，臺農2號及臺農1號即分別已有2.3及3.2芽，與24.1及92.2cm。比較貯藏期間臺農1號及臺農2號塊莖之失重率，在涼溫下貯藏至26週時，臺農2號及臺農1號之失重率分別爲28.3及29.5%，室溫下則分別高達62.0及69.4%。由上述之結果可知，在涼溫（17±1.5°C）環境下，臺農2號塊莖至少可貯藏26週。

討　　論

D. alata L. 爲重要國際性農園藝作物之一，山藥臺農2號爲屬於 *D. alata* 之優良栽培品種，極適合在臺灣栽培生產[9,23]。臺農2號之生產環境要求溫暖氣候，其薯塊於溫度降至12°C時，會有寒害腐爛現象發生。臺農2號通常利用30—80g 左右的薯塊，於每年3—4月間進行無性繁殖，值此時期，溫度逐漸上升，種薯即發芽出土，其發芽適溫約爲17—18°C左右；莖蔓生長之適溫約爲25—26°C；薯塊發育之適溫則爲22—23°C；故於11—12月間，塊莖之生長發育將達到最高峰。就整個山藥生長期而言，溫度太高或乾旱太久，將不利其發育成長；就雨量而言，在600至3,000mm 之降雨量地區，均可栽植山藥。由於臺農2號具深根性，故不論是否利用塑膠穴管栽培，栽培場所之土壤宜疏鬆、深厚且排水良好，一般以砂質壤土較宜，富含有機質者更佳，栽培時應多施有機肥料；在肥料施用種類方面，則以牛糞有機肥栽培臺農2號之增產效果較高，其次爲甘雨特（雞糞）肥（詳如表3、表4）。此外，由於臺農2號生長旺盛，利用塑膠布覆蓋，除了可抑制雜草生長、降低除草成本外，對產量之增進亦有助益（詳如表5）。

臺農2號之種植方式可分爲一般及塑膠穴管（天溝）兩種。半圓形天溝內介質之種類對栽培山藥之產量影響很大，由本試驗比較混合介質之影響結果可知，牛糞肥：蔗渣＝1：2之混合介質對塊莖產量之增產效果，較牛糞肥：砂：田土＝1：1：1高出約50%（詳如表1、表2）。若於半圓形塑膠穴管內，除了先填滿蔗渣：牛糞肥＝2：1之特定介質外，塑膠穴管外之栽培田區另先混施10t/ha之牛糞肥，之後再栽培臺農2號，則臺農2號之平均公頃產量可高達63.2t/ha，此項增產效果較沒有先混施10t/ha 之牛糞肥者又高出約53%（詳如表2）。除了促進產量之外，利用穴管栽培，另可改良臺農2號之外表形狀。故就薯形之整齊程度、薯皮之光滑、田間採收之省工以及控制採收破損率而言，以穴管方式栽培之臺農2號都佔盡優勢，且塊莖採收破損率爲0%，遠非一般（無穴管）方式之35%以上所可比擬，深具參考利用價值。臺農2號於本省海拔850m 以下地區均可栽培，種植時建議利用塑膠穴管法。由於穴管之利用年限一般應爲6—10年，利用穴管栽培另可節省不少採收人工費用，穴管栽培臺農2號所增加之實際成本，應不如預期之高。本試驗採用之穴管排放方式爲單行植，行株距爲100×30cm，若穴管排放方式改爲雙行植，或其他不同排放方式時，對臺農2號塊莖產量之增產效果或許更大。

臺農2號經宿根再栽培一年，第二年期之單株塊莖收量及塊莖公頃產量，與第一年之差異不大[23]，故就臺農2號而言，若於每年四月種植，於當年即可採收。臺農2號之生育期爲8個月，但在6個月時其塊莖即有21t/ha 之生產能力（詳如表1，一般栽培方式），就部分調節產期而言，或可依市場需要，提早或延後臺農2號之採收時期。

臺農2號生長時期之主要病害爲炭疽病[23]，炭疽病亦爲本省山藥生產上最常見且最嚴重的病害

種類。於炭疽病發病初期，或蔓葉生長旺盛時，可施用鋅乃浦可濕性粉劑400倍、免賴得（億力）1,000倍或40%腐絕可濕粉劑1,000倍稀釋液防治，每7～10天一次，連續3～4次。蟲害中以盲椿、蚜蟲、甲蟲、夜盜蟲、螻蛄、天蛾幼蟲、毒蛾幼蟲及紅蜘蛛爲主。蔓葉害蟲可噴施24%納乃得（萬靈）可濕性粉劑2,000倍，或25.3%美文松乳劑500倍稀釋液防治；紅蜘蛛可噴施18.5%大克蟎可濕性粉劑500倍防治；地下害蟲可施用好年冬（加保利粒劑）每公頃60kg，或10%芬滅松粒劑每公頃15kg防治；盲椿可用50%加保利可濕粉劑500倍防治[13]。炭疽病同爲臺農1號與臺農2號最常見且最嚴重的病害，但與臺農1號比較，臺農2號顯著較爲耐病[23]。蟲害中以紅蜘蛛之危害較嚴重，但一般而言並不構成大害。

山藥臺農2號於採收後，可將塊莖洗淨泥沙及削皮，即可供鮮食或烹調食用；於切片或切角後烘乾或磨粉，可供製成各種加工產品，如山藥片、山藥粉或山藥薯條等。臺農2號之塊莖肉色雪白，肉質細嫩，粘度高，且不易變色，極適合生食或烹調成各式精美之山藥食譜[23]，如山藥鮮汁、山藥排骨湯、及山藥辣味雞丁等。一般山藥之塊莖在削皮後10分鐘內，往往呈現明顯顏色褐變，臺農2與臺農1號則於30分內未見顏色褐變現象[20]。臺農2號之塊莖利用0.5% citric acid+0.5% $NaHSO_3$ 浸漬處理後，更容易保存原來之顏色。浸漬處理後之原料，經冷凍乾燥法製成之山藥粉製品之品質極佳，產品經1年貯藏後，顏色穩定，且水份含量皆在10%以下，品質之安定性甚高[12]。臺農2號塊莖肉質部分具粘質多糖類（viscous polysaccharides），此成分主要含碳水化合物（carbohydrates）、還原糖（如 mannose、arabinose、glucose、galactose 及少量之 xylose 與 rhamnose），以及2%左右之蛋白質等。粘質多糖類含量之多少，以及其內含物分子間之相互作用之強弱，均可影響塊莖肉質粘度之大小。臺農2號之黏度值甚高，且高於臺農1號[20,23]。

山藥在歷代本草中都被視爲補虛佳品[10]，『神農本草經』等本草典籍謂其性平、涼潤、味甘而無毒，能健脾胃、補肺腎及收澀固精，主治泄瀉久痢、消渴、虛勞、咳嗽、遺精、帶下及小便頻仍等，另具祛痰功效；民間用爲滋養強壯藥[7]，古代名方如六味丸、八味丸、參苓白朮散、無比山藥丸、大山蕷丸以及坊間之四神湯中即有山藥，根據『醫學衷中參西錄』，用山藥組配的方劑多達47個。由現代研究報告發現，山藥含蛋白質、糖、胺基酸、鈣、磷、鐵、維生素C等多種有益生命活動的重要物質，這也是山藥作爲益壽佳品的物質基礎。部分山藥塊莖含有皀苷（diosgenin）[10]，是激素的原料之一，此說明山藥有補腎澀精之說具有一定的科學根據。惟由本所初步分析結果得知，臺農2號與臺農1號之塊莖中並未含 diosgenin 之成分。由臨床實驗證實，山藥確有增進食慾、改善人體消化功能及增強體質等多種功能；近來還發現山藥和黃耆、黨參、何首烏、巴戟天、靈芝、人參等生藥相似，有誘生干擾素的作用[10]。

全球薯蕷屬植物約有750種，一年生植株由種植到成熟，須時約6—10個月，依種類而異[30]。山藥多以營養體繁殖，全世界塊莖年產量之20%仍留作種薯用[25]。塊莖採收後，利用其自然休眠特性，由於休眠期間細胞呼吸作用下降，故一般約可貯放3個月[25]。供貯藏之山藥塊莖不可有機械傷害，才耐貯放。貯藏時溫度之降低，具有延長塊莖休眠及延遲發芽時間之作用，另可減小碳水化合物之損失。惟過低之溫度如12—14°C或以下，會產生寒害（chilling injury）現象，將造成大部分山藥（*D. alata*）塊莖之嚴重傷害[25,31,32]；以14±1°C貯藏紅肉70R01品系，於貯藏至26週時，即有嚴重之寒害現象；自第26週貯藏期起，山藥臺農1號及巴西品系塊莖內部腐爛率之增加，或亦肇因於低溫傷害之故。除了降低溫度可達到抑制萌芽、延長塊莖貯藏效果外，利用7.5Krad 之γ射線亦具良好抑制萌芽之作用，惟其費用昂貴，且易使種薯失去活力。利用化學藥劑於抑制萌芽方面，MH(Maleic hydrazide）的效果不大，且具毒性；而 CIPC，即 Isopropyl N-（3-chlorophenyl）carbamate，之萌芽抑制效果不穩定；只 GA_3 經證實可延長 *D. alata* 及 *D. esculenta* 之休眠期[25]。

貯藏期間山藥塊莖之失重率及其萌芽狀況與貯藏溫度有關，山藥臺農 1 號在室溫（20±8°C）、17±1°C及14±1°C三種溫度下，明顯以室溫之失重率最大，隨溫度之下降失重率愈小，且萌芽後之失重率，一般皆大於萌芽前，此似與細胞呼吸率之上升有關[3]。於貯藏期間，一般山藥塊莖之失重率不小[25]，本試驗山藥臺農 1 號及臺農 2 號於17±1.5°C貯藏26週時之失重率爲28.3—29.5%，於室溫中分別達62.0—69.4%。一般而言，*D. alata* 塊莖之休眠特性在16°C下可達 4 個月左右[25]，本試驗臺農 2 號在17±1.5°C之涼溫環境下，貯藏效果可達26週或更久。17±1.5°C加上網袋之貯藏方式，對臺農 2 號塊莖之貯藏壽命確有延長效果，又可抑制萌芽數目及芽之繼續伸長，是一種值得推薦的貯藏方式。參考美國農部山藥貯藏的資料可知，山藥適宜之貯藏溫度爲16°C，RH70—80%，約可貯存6—7月，即26—30週，此與本試驗之結果相似。

臺農 2 號能適應海拔850m 以下之生長環境，在較高海拔及強風等不利地區之表現較對照品種爲佳。利用一般種植方式，施肥種類以化學肥料爲主，臺農 2 號於1989—1992年區域試驗之平均公頃產量達26.58t/ha，優於其他對照品係，產量甚高且穩定；由本試驗結果可知，利用含有機介質之穴管種植，田區另增施有機肥料之方式，可促進臺農 2 號之公頃產量，甚至高達63.2t/ha；而利用17±1°C加網袋之貯藏方式，更可延長塊莖貯存及利用期限。在高產與貯存無虞之下，臺農 2 號因具備優良營養品質、加工特性、耐病表現、以及塊莖肉質味美、粘度甚高、顏色潔白、且不易褐化等特性，在食用、加工用及保健利用等方面之發展，深具潛力。

綜合上述可知，臺農 2 號確實具有許多項優良特性，故於1996年命名後，隨即於1997年推廣至14鄉鎮地區，預期今後可再取代更多現有栽培品種如臺農 1 號及基隆山藥等的種植面積。

引用文獻

1. 山藥促銷與編輯小組。1993。山藥之利用與栽培。臺灣省農業試驗所及花蓮區農業改良場編印。臺中縣及花蓮縣。
2. 王昭月、賴永昌、譚增偉、劉新裕。1992。山藥之生產促進及省工栽培研究。中華農業研究41：43—52。
3. 王昭月、劉新裕。1992。不同山藥（*Dioscorea alata L.*）品系塊莖之貯藏研究。中華農業研究41：159—168。
4. 王昭月、劉新裕、宋麗梅、高介志。1993。山藥不同品系間之變異性研究。中華農業研究42：280—291。
5. 行政院衛生署中藥典範編輯委員會。1985。山藥。中華民國中藥典範第一輯。577—579及664頁。臺北。
6. 那琦、甘偉松、楊榮季。1978。臺灣產藥材之生藥學研究（IV）臺灣產零餘子之生藥學研究。中國醫藥學院研究年報9：330—375。
7. 林俊清。1986。山藥。新編生藥學（第1集）。116—123頁。高雄醫學院出版。高雄市。
8. 張進益。1988。山藥。經濟植物集。豐年社出版。44—49頁。臺北。
9. 許博文、葉大振、廖秋榮、劉新裕、顏秀峰。1995。恆春農場山藥之栽培改良。臺灣地區藥用植物資源之開發與利用學術研討會專刊。臺灣省農業試驗所特刊第48號。臺中。
10. 陸欽堯、黎明。1994。山藥。抗衰老的中草藥。度假出版社有限公司。臺北。
11. 彭德昌。1988。利用塑膠管栽培長形山藥。豐年社出版。豐年38：49—52。
12. 曾慶瀛、余哲仁、劉新裕。1993。粉末山藥之製備及其貯藏期間品質變化之研究。中華生質能源學會會誌13：92—101。
13. 葉俊巖。1995。山藥之主要病害。桃園區農業專訊11：17—19。
14. 楊燕毅、陳運造。1984。楊氏園藝植物大名典。*Dioscorea L.*薯蕷屬。楊青造園企業有限公司。中國花卉雜誌社。3274—3283頁。臺北。
15. 劉棠瑞、黃增泉。1962。臺灣之薯蕷屬植物。Bot. Bull. Acad. Sinica 第三卷。臺北市。
16. 劉棠瑞、黃增泉。1978。Dioscoreaceae 薯蕷科。Flora of Taiwan。100—109頁。
17. 劉新裕。1989。千里達山藥之生產能力與品質分析研究。中華農業研究38：312—325。
18. 劉新裕、呂秀英、王昭月、賴永昌。1990。環境因子對山藥生長與產量之影響。中華農業研究39：287—296。

19. 劉新裕、王昭月、徐原田、段中漢。1992。山藥臺農 1 號之育成。中華農業研究41：140—158。
20. 劉新裕、王昭月、宋麗梅、高介志。1993。山藥優良品系70W04之選育、栽培與品質研究。中華農業研究42：265—279。
21. 劉新裕、王昭月、宋麗梅、徐原田。1994。重要藥用植物山藥之生產與品質研究。中醫藥雜誌 5：167—183。
22. 劉新裕、王昭月、徐原田、宋麗梅。1995。本省山藥之研究。中醫藥雜誌 6：111—126。
23. 劉新裕、王昭月、徐原田、胡敏夫、楊宏仁、何琦琛。1996。山藥新品種臺農 2 號之育成。中華農業研究45：260—284。
24. 龔財立、姜金龍、劉新裕、黃鵬。1994。特用植物類：山藥。臺灣農家要覽。農作篇(一)175—182頁。
25. Bradbury, J. H. and W. D. Holloway.1988. Chemistry of Tropical Root Crops. pp.27—98. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra.
26. Chandra, S. 1984. Tropical Root Crop Statistics: A World Perspective.pp. 41—46. In: Proceeding of the Sixth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops.International Potato Center. Lima. Peru.
27. Chang, T. T. 1992. Availability of Plant Germplasm for Use in Crop Improvement. pp. 17—35. In: Plant Breeding in the 1990s. Stalker, H. T. and J. P. Murphy(eds.). C. A. B. International, Qxon.
28. Food & Agriculture Organization. 1993. Yams. FAO Quarterly Bulletin of Statistics 6：96.
29. Martin, F. W.1976. Tropical Yams and Their Potential Series.Part 1：*Dioscorea esculenta,* Part 2：D. *bulbifera;* Part 3：*D. alata;* Part 4：*D. rotundata* and *D. cayenensis.* In：Agriculture Handbook No. 457,466,495, and 502. Martin F. W. (ed.). United States Department of Agriculture, Washington, D. C., USA.
30. Onwueme, I. C. 1978.Origin, classification, and growth cycle of the yam plant. The Tropical Tuber Crops. Pitman Press, New York. pp: 3—16.
31. Tindall, H. D. 1983. Dioscoreaceae. Vegetable in the Tropics. pp. 201—224. Macmillan Press, London.
32. Yamaguchi, M. 1983. Yam. pp. 139—147. In: World Vegetables: Principles, Productionn, and Nutrition Values. Yamaguchi, M.(ed.). AVI Publishing Company, Westport, CT.,USA.

L46-3-5

Production Improvement of Yam Variety Tainung No.2[1]

Sin-Yie Liu[2], Torng-Wu Chang[2], Jau-Yueh Wang[3],
Yuen-Tien Shyu[2] and Min-Fu Hu[2]

Summary

The yam variety Tainung No. 2 was registered and released for commercial production in 1996. Based on its high and and stable yielding potential and high quality of tuber, it has been accepted and extended to 14 county areas throughout Taiwan in 1997. Although the mean tuber yield of Tainung No. 2 was relatively high and stable, a mean tuber yield of 26.9 t/ha had been obtained from 1989 to 1992, many factors such as year, location, elevation, fertilizer, planting date, growth duration, cultivating method and cultivating media, etc. could play a more or less important effect on its tuber yield. Experimental results showed that the mean tuber yield of Tainung No. 2 was 32.7 t/ha under normal cultivating method like sweet potato , when compared with a yield of 27.6 t/ha under cultivating with half plastic pipe, which was 50cm in length and was filled with mixed media of soil, sand, and cattle manure with a ratio of 1 : 1 : 1. But a yield of 41.3 t/ha was recorded, when the media in the half plastic pipe were changed by sugar- cane waste and cattle manure with a ratio of 2 : 1. In contrast with the yield obtained from the former cultivating method with half plastic pipe and mixed media of sugar- cane waste and cattle manure, a yield of 63.2 t/ha could be reached, when the plot soil was additionally mixed with 10 t/ha of cattle mannure before planting of Tainung No. 2. Besides higher tuber production of Tainung No. 2 had been achieved, a lengthening period for 26 weeks was obtained by storing tubers of Tainung No. 2 at 17±1.5°C, which can be very useful for tuber further usage purpose.

Key words : Yam (*Dioscorea alata* L.), Production, Storage.

1. Contribution No. 1909 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Senior Agronomist, Assistant, Assistant Agronomist and Assistant Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Taiwan, ROC.
3. Assistant Researcher, Office of Plant Germplasm, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 46(3)：262～277 (1997)

水芋葉面積指數動態的季節性變異[1]

陳烈夫[2] 呂椿棠[3] 呂秀英[3]

摘要：本研究利用從水芋移植後起所累計的每日大於0°C之平均氣溫總和作爲溫度時間，以解析本省水芋於不同種植期下葉面積指數（LAI）在整個生長期的動態變化及季節變異性，發現 LAI 爲溫度總和的二次指數函數，藉此關係式可預估出所有種植期下水芋 LAI 達到最大值所需的溫度時間均至少在4000°C以上。不同種植期之 LAI 增加速率及最大值會因氣候差異影響而表現不一，其中以氣溫爲最主要影響因子，其次是日射量。雖然本省水芋可全年種植，但以1月種植期的 LAI 增加速率最快且在年度間變異最小，倘提前於11月或延後至3—5月種植有可能分別因爲低溫、梅雨或颱風等異常氣候而減緩葉片生長。若於7—9月之夏季秋初時種植因整個生長期處於氣溫及日射量均較低的秋冬季，故最不利於水芋葉片生長。最大 LAI 值（LAI_x）及溫度總和達4000°C時之累積 LAI（$CLAI_{4000}$）對收穫球莖乾物重(CDW_{HV})之影響均呈極顯著的直線關係，表示 LAI 增加速率及最大值愈大，球莖產量則愈高；當 LAI_x 提高1單位時，CDW_{HV} 可增加約68公克；當 $CLAI_{4000}$ 提高1單位時，CDW_{HV} 可增加約24公克。

關鍵詞：芋、葉面積指數、動態、溫度時間、溫度總和、球莖產量。

前　言

在本省芋之改良研究方面，對於與芋之質、量改良有密切關係的生理、生態、遺傳及育種等基礎研究工作，顯然較其他根莖類作物爲少，目前亦少有詳盡的資料可供參考。爲提高本省芋作物之改良及生產工作的效率，有必要進行相關生理等方面的基礎研究。光合作用是決定作物產量之主要因素之一，葉片爲光合作用的主要器官，因而葉面積被認爲是量度光合作用最好的單位(2)。葉面積爲作物植冠在生理上一個很重要的描述計量，葉面積的變化及大小對作物能量移轉與乾物質累積過程均有密切的關係。因此單位面積土地上所有葉面積之總和，即葉面積指數（leaf area index, LAI），可以量度作物群落之光合作用大小。LAI 最常用來作爲植物生長之指標，及植物生理研究上評估同化及蒸散速率，該介量並最適合用來進行乾物質生產之研究。

陳等(4)指出提高 LAI 的增加速度及最大值，爲生理上影響本省水田栽培檳榔心芋乾物質生產增加之重要原因，此結果與 Satou *et al.*(41,42) 所發現者相符，即維持最適的 LAI爲提高芋生產力的有效途徑之一。呂等(1)並以 Richards 函數進行秋作水芋生長分析，顯示出同一期作不同年度之水芋的葉面積生長曲線受氣候影響甚大，此將影響球莖產量之生產。本省氣候環境於任何時期種植芋作物，只要氣溫、日光及水源充足，均有相當的收量，可行週年栽培，但因爲配合本省稻作耕作制度，農民

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1910 號。
2. 本所農場管理室助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農藝系助理與副研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

多在秋作或春作種植。由於本省水芋可全年種植，不同栽培季節下水芋 LAI 隨時間生長的動態變化如何，仍然有待瞭解，不同季節生育期間氣象因素對水芋葉片生長之影響，本省相關研究至今仍然闕如，故有必要作深入之研究與探明，此將有利於本省芋作物之生長發育與產量關係之研究，對水芋經濟產量的提高及農業投資的效益，均很有幫助。

作物之生長與發育是一種連續不斷的動態過程，並受到氣象因子的影響。在這些氣象變數中以氣溫對作物整個生育期的影響最大，而氣溫也是最容易取得與估算的氣象變數[10,11,28]。當氣溫及其他生長因素固定時，作物生長爲時間的函數；氣溫變化會改變作物的生長效率，因此可以利用氣溫的變化來簡單地估算作物的生長動態[38]。作物對溫度的反應可視爲一種單位累積的效應[29]，因此溫度時間（thermal time）有時又稱爲積溫（accumulated temperature）或熱單位（heat units）。熱單位理論最初由 Réaumur 在1730年所提出，許多年來一直被廣泛應用於作物的發育氣候模式（phenological model）之開發，以進行不同環境下作物生育期的預測，來取代使用生育日數法預測所造成的誤差，例如玉米[10,18,19]、牧草[32]、麥類[7,9,26]、落花生[24]等。這種以積溫爲基礎的生育度數法（growing degree days, G. D. D.）所預估的作物生育期及生育狀況，準確度相當高[3,40]。近來，溫度時間也用來分析氣象因素及管理對作物葉片生長的影響[6,16,21,25,30,33,44]。溫度對葉片的擴展速率之影響最大，特別是田間生長的葉片，葉面積增加與溫度之間有極密切之關係，因此利用溫度時間分析，可以澄清田間 LAI 隨時間變化的趨勢[35]。

本研究之目的在(1)利用溫度時間以分析本省水芋在不同栽培季節下 LAI 的動態變化，(2)藉由 LAI 生長之動態解析以預估不同種植期達到最大 LAI 值的發生時間，(3)探討造成不同栽培季節下 LAI 增加速率差異的氣候影響因素，(4)建立 LAI 與球莖乾物重之間的數理關係以描述 LAI 對產量的影響程度。

材料及方法

一、試驗材料之培育

本研究以臺灣地區栽培最廣的地方品種檳榔心芋爲試驗材料；田間栽培試驗在臺灣省農業試驗所之田區進行，分別自1993年11月及1995年1月起每隔二個月種植一次，爲期兩年，共計十二個種植期。每一種植期重複四次，行株距70×30公分，每行25株，每重複種植8行共200株。本試驗採水田栽培方式種植，整地方法與種植水稻時相同。自種芋田選取子芋，稱重後取35±10公克之芋苗，逢機種植於試驗田區。種植後田間保持淺水3—5公分，生育期間前七個月田間經常保持淹水狀態，以後則僅維持土壤濕潤狀態。

肥料爲硫酸錏、過磷酸鈣及氯化鉀，氮、磷、鉀三要素每公頃施用量各爲700、200及600公斤。平均分爲七等分於移植時及移植後每隔一個月施用一次。生育期間之雜草控制，在種植後1至3天每公頃施用5%丁基拉草粒劑30公斤，並保持3至5公分淺水3天，種植後一個月再以同量施用一次，爾後則視田間雜草及子芋產生數量適時拔除，以免影響水芋正常生長。病蟲害防治則依實際情況適時防治（參閱農林廳編—植物保護手册），其他管理方法則依一般慣行法行之。

二、性狀調查及葉面積指數之估算

自移植後每隔一個月，自各重複中逢機選取3株生育正常的植株，四個重複共計12株，以葉面積測定儀（Model LI-3000, LI-Cor co., U. S. A.）測量實際各株之葉片面積，然後將葉片、葉柄及球莖分別置於送風乾燥箱中以100°C烘乾二小時，再以80°C烘乾72小時，最後秤量各部位之乾物重，每一種植期取樣調查 9 次。

葉面積指數（LAI）爲單位土地面積之葉面積，即 LAI＝A／P，式中 A 爲全株葉面積（平方公分），P 爲單株所佔土地面積＝2100平方公分。

三、溫度時間之計算

熱單位理論的基本假設是在不考慮日長、光強度、病蟲害、水份、二氧化碳濃度等條件下作物的發育速率會隨著有效氣溫（effective temperature）之升高而直線遞增[9,48]，而完成一個特定發育相所需要的有效溫度則爲一個常數，有效溫度的基本定義是以在特定生育期中每日平均溫度減去一定溫度下限—基礎溫度（base temperature，即作物停止生長的溫度）後所得的溫度；將作物特定生育相每日之有效溫度累計的總和，可以作爲溫度時間以預測作物生長期。但 Ong and Barker[35]指出，對於葉片生長所需的基礎溫度之選擇至今仍充滿著不確定性，縱然有些宣稱可以經由估算求得，但大多是利用外揷法（extrapolation）計算而來，此外揷值可能會受到其他未控制因素的影響，這是因爲某些作物的葉片形成及擴展對濕度、光週期及缺水等因素相當敏感；雖然如此，在溫度與其他因素同時發生變異的田間，溫度時間仍然是用來分析溫度對葉片生長的最有效且具意義之方法。Petr[38]認爲以累計每日大於0°C的平均溫度之總和（temperature sum）作爲溫度時間的量度，以預測作物葉片生長，即可獲致良好的預測效果。其並指出，對一年生作物而言，溫度總和通常是從播種或發芽日起累計每日之溫度，而多年生作物（如苜蓿）及冬季作物（如冬小麥）則是從某一固定日期起開始累計，例如 1 月 1 日起、從溫度總和達50°C的前10天起、種植日起等。芋作物爲多年生作物，因此本研究從種芋種植日後起開始累計每日平均溫度的總和，以作爲溫度時間的量度。

結　　果

兩年各六個種植期下的葉面積指數（LAI）隨生育時間的變化，示如圖1。11月、1月、3月及5月四個種植期水芋自移植後第一個月起 LAI 即呈急速的直線增加，然後在各自達一高峰後便開始降低，其中以第一週年栽培的11月種植期的 LAI 高峰值（3.8）最大，1 月種植期 LAI 高峰值爲3.3則次之。11月種植期在不同年度之間的變異最大，第二週年的最大 LAI 值爲2.2，約是第一週年之 LAI 值的一半；1 月種植期在不同年度之間表現較爲穩定，LAI 高峰值都在 3 以上；3 月種植期 LAI 高峰值在年度之間略有差異，但都在2.5以上；5 月種植期在兩年之 LAI 高峰值似乎在數值及時間上都有差異。從11月到 5 月種植期間，最大LAI 至少都在1.0以上。7 月及 9 月兩個種植期在移植後第九個月採收前，其 LAI 隨時間的變化似乎沒有明顯的高峰存在，兩年的趨勢亦相當一致，一直以固定的緩和速率增加，至收穫爲止其 LAI值最多也不過在1.5—2.2之間。

由於目前芋作物葉片生長的基礎溫度尚不確定，因此本研究採以 Petr[38]對多年生作物的建議，從水芋種植日後起開始累計日平均氣溫的總和，以作爲溫度時間的量度。水芋在不同月份種植期下的 LAI 均爲溫度總和的二次指數多項式函數（second-order polynomial exponential function），即 LAI 經自然對數（natural logarithms）轉換後與溫度總和（ST）之間均呈極顯著之二次迴歸關係，如圖 2 所示。由圖中顯現，同一種植期不同年度間的關係相當一致，同時所有種植期的 *ln*LAI 與 ST 所配合的二次迴歸方程式之截距、一次項迴歸係數及二次項迴歸係數估值的正負符號均一致各爲負、正、負，表示其圖形變化均很類似，爲向下彎曲的二次曲線，唯向下彎曲的弧度在不同種植期之間由陡峭到平緩，正好形成一個循環，其中以 1 月種植期的向下彎度最爲明顯，然後是3月種植期，一直到 9 月種植期彎度已變得相當平緩，而到11月種植期則彎度又開始恢復較爲陡峭。不同種植期 *ln*LAI 隨 ST 之生長曲線向下彎度的變化由各配合式的二次項迴歸係數估值亦可窺知，該估值之絕對值從 1 月種植期到 9 月種植期有逐漸遞減的趨勢，至11月種植期則又開始變大。

二次迴歸曲線的最大值，可藉由使其一次微分方程式（first differentiation function）爲零之求解獲得，即假設二次迴歸函數爲 $ln\text{LAI}=f(\text{ST})=a+b_1\text{ST}+b_2\text{ST}^2$，則其一次微分方程式 $f(\text{ST})=b_1+2b_2\text{ST}$，當 $f(\text{ST})=0$時，解得 $\text{ST}=-b_1/2b_2$，表示在溫度總和達到這個值時 lnLAI（即 LAI）爲最大值。基此，水芋不同種植期 LAI 達到最大值時所需要的溫度總和估值，列於表 1

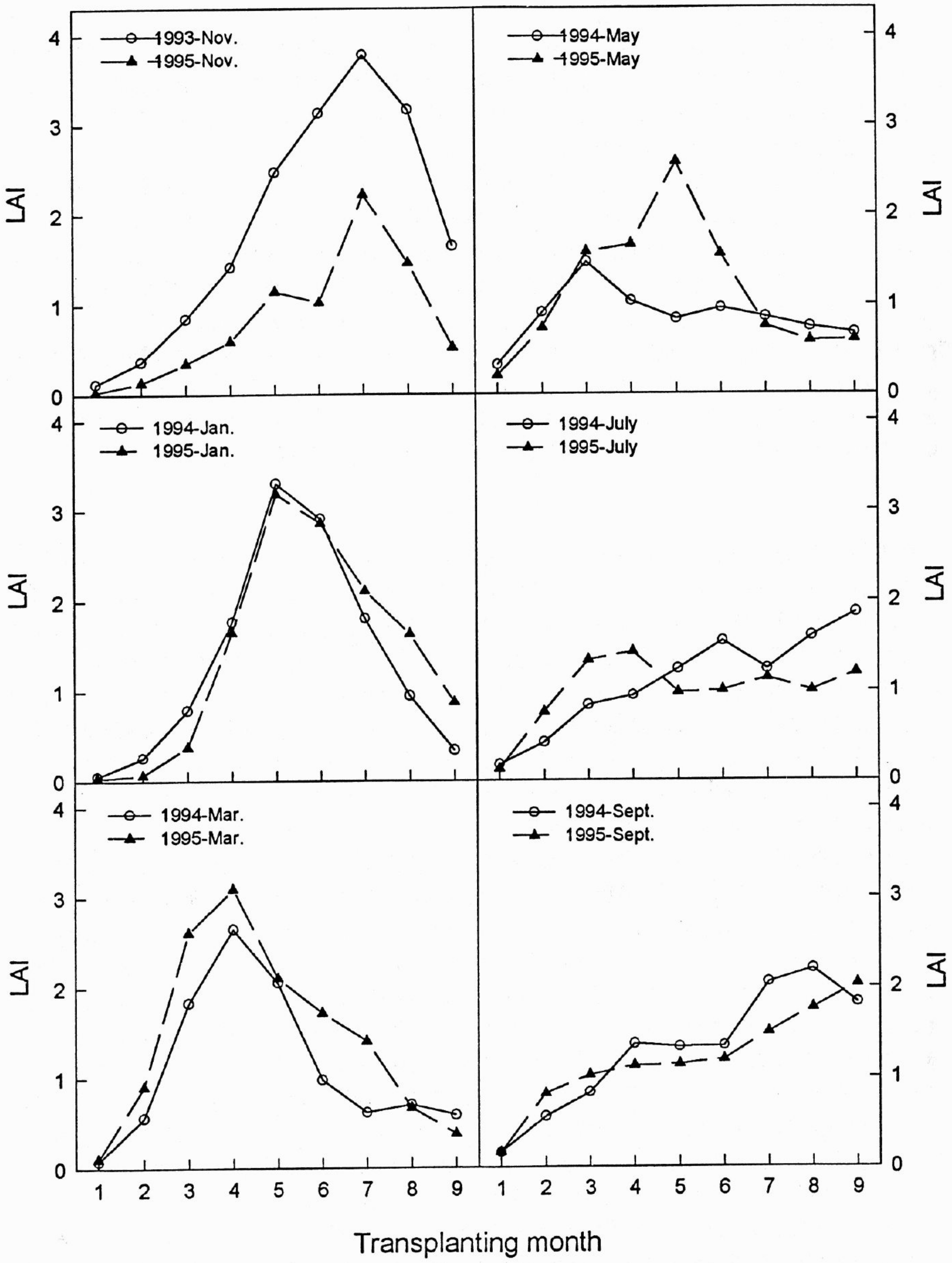

圖 1. 水芋不同種植期下葉面積指數之生長變化

Fig. 1. Changes of leaf area index (LAI) during the growing seasons for wetland taro under different transplanting months.

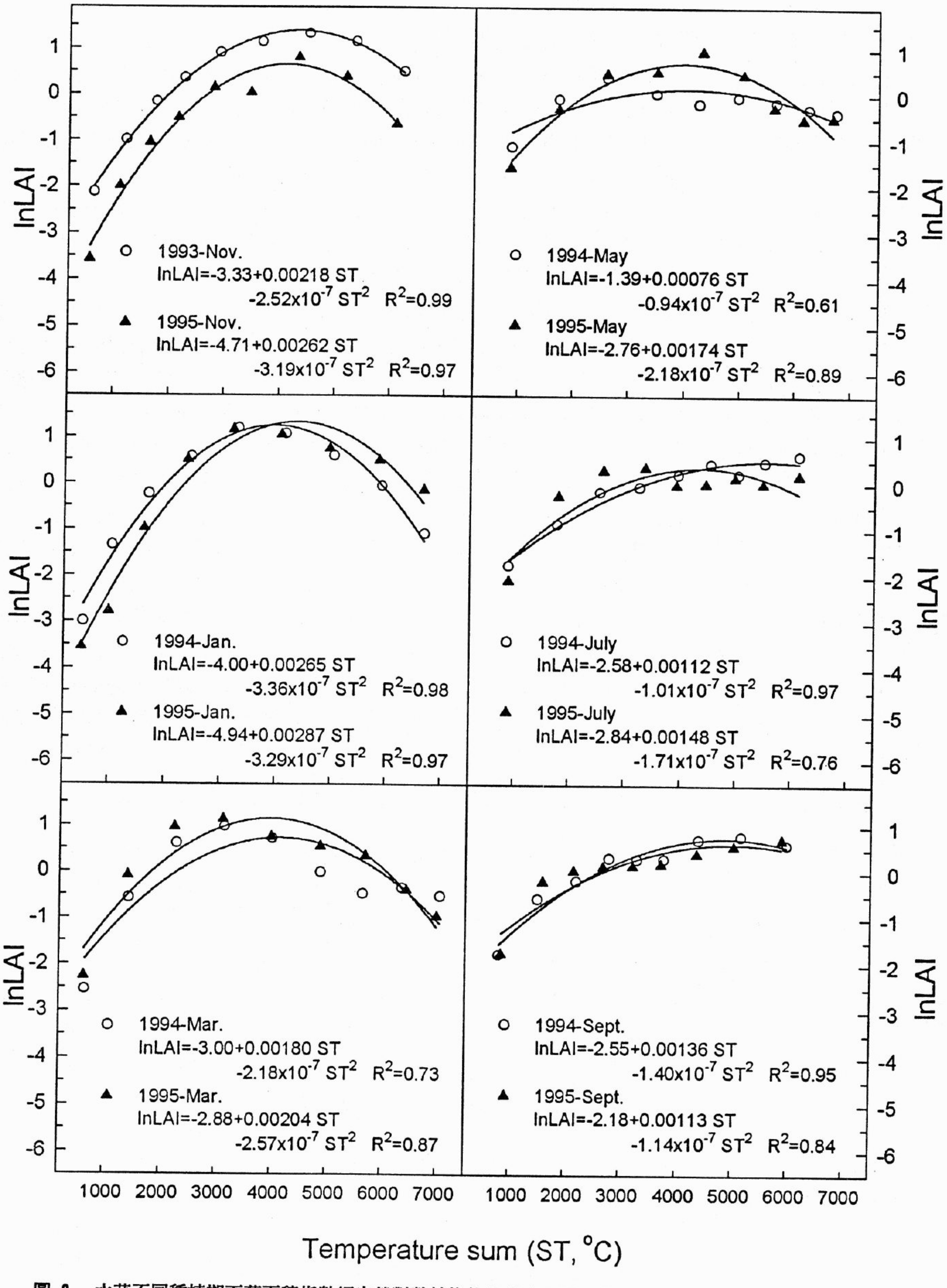

圖 2. 水芋不同種植期下葉面積指數經自然對數轉換後與生育期間溫度總和之間的關係（實線爲迴歸線）

Fig. 2. Relationship between the natural logarithms of leaf area index (lnLAI) and temperature sums (ST) during the growing seasons for wetland taro under different transplanting months. (solid line for regression)

。由表中發現，11月、1月、3月及5月四個種植期的估算結果甚爲相近，LAI達到最大值時所需要的溫度總和範圍在3949—4325°C之間，平均四個種植期爲4108±56°C；而7月及9月兩個種植期之LAI 達到最大值時所需要的溫度總和估算範圍在4313—5530°C之間，平均兩個種植期爲4911±249°C，其中第二週年的7月種植期因模式配合度較差（決定係數 R^2=0.76，如圖2），故有低估的可能。因此除了7月種植期以外，同一種植期不同年度之間的變異均不大，最多以1月種植期的平均值標準誤差（standard error of mean, SE）也不過207°C，年度間的差異以5月種植期爲最小，其所需溫度總和之SE 僅爲25°C而已。平均六個種植期的估算結果，水芋 LAI 達到最大值時所需要的溫度總和爲4051±592°C，即當溫度總和至少約達到4000°C時，任何種植期下水芋的 LAI 應可達到最大。

將表1不同年度各種植期所估得的欲達到最大 LAI 所需之溫度總和的數值代入各自求配的二次指數函數公式（圖1）中，可求出各種植期在不同年度下的最大 LAI 預估值（LAI_x）及達到該值所需的時間（DAP_x，日數），列於表2。由表中發現，11月種植期不同年度都一致在移植後第207天（約6.9個月），即在翌年6月初，其 LAI 可達最大，此時溫度總和爲4212±113°C（表1），但兩年的最大 LAI 值卻相異甚大，預期第一週年之 LAI_x 應可達到4，但第二週年僅有1.9，第一週年約爲第二週年的兩倍之多；1月種植期兩年度所預估的最大 LAI 結果亦十分相近，在溫度總和達4156±207°C時（表1），正好在移植後第183±8天（約6.1個月），差不多在當年7月中旬左右，估計其 LAI_x 可達3.62±0.15；3月種植期在溫度總和達4046±87°C時（表1），即移植後第157±3天（約5.2個月），約在當年8月中旬左右，最大 LAI 估值可達2.61±0.54，年度間的 DAP_x 非常相近但 LAI_x 以第二週年高於第一週年；5月種植期在溫度總和達4016±25°C時（表1），即移植後第144±1天（約4.8個月），約在當年10月初，估計最大 LAI 值可達1.59±0.45，其年度間的變異與3月種植期類似，即 DAP_x 一致但 LAI_x 以第二週年略高於第一週年；7月種植期在溫度總和達4912±608°C時（表1，按第二週年7月種植期的模式配合度較差，故造成 SE 較大），約在移植後第212±34天（約7.1個月），差不多在翌年2—3月間，預估其最大 LAI 值應可達1.53±0.12，LAI_x 在年度之間的變異不大；9月種植期在溫度總和達4901±55°C時（表1），即移植後第237±6天（約7.9個月），約在翌年4月底5月初之間，LAI_x 可達1.97±0.12，兩年預估結果極爲相近。

表 1. 水芋不同種植期下由 $lnLAI=a+b_1ST+b_2ST^2$ 公式估計達到最大 LAI 值所需的溫度總和（°C）

Table 1. Estimation of required temperature sum (°C) up to maximum LAI from the equation $lnLAI=a+b_1ST+b_2ST^2$ for wetland taro under different transplanting months

Year cycle	Transplanting month					
	Nov.	Jan.	Mar.	May	July	Sept.
1	4325.40	3949.40	4133.03	4040.94	5529.70	4846.43
2	4098.75	4363.22	3959.14	3990.83	4312.87	4956.14
Mean	4212.07	4156.31	4046.09	4015.88	4912.28	4901.28
SE[z]	113.33	206.91	86.94	25.06	608.42	54.86
Combined data from Nov. to May :			Mean	4107.59		
			SE	56.48		
Combined data from July to Sept. :					Mean	4911.28
					SE	249.46
Combined data over all transplanting months(from Nov. to Sept.)					Mean	4051.26
					SE	592.11

[z] SE=standard error of mean

表 2. 水芋不同種植期下由 lnLAI=a+b₁ST+b₂ST² 公式預測最大 LAI 值及其所需的生育日數

Table 2. Prediction of maximum LAI(LAI_x, °C) and required days after transplanting (DAP_x, days) from the equation $lnLAI=a+b_1ST+b_2ST^2$ for wetland taro under different transplanting months

Year cycle	Nov.		Jan.		Mar.		May		July		Sept.	
	LAI_x	DAP_x	LAI_x	DAP_x	LAI_x	DAP_x	LAI_x	DAP_x	LAI_x	DAP_x	LAI_x	DAP_x
1	4.01	207	3.47	175	2.07	159	1.15	145	1.66	245	2.09	231
2	1.91	207	3.77	191	3.15	154	2.04	143	1.41	178	1.86	242
Mean	2.96	207	3.62	183	2.61	157	1.59	144	1.53	212	1.97	237
SE[z]	1.05	0	0.15	8	0.54	3	0.45	1	0.12	34	0.12	6

(Transplanting month)

[z] SE=standard error of mean

綜合上述兩年各六個種植期的估算結果，雖然水芋在不同種植期下可達到之最大 LAI 值未必一致，但其溫度總和至少都必須達到約4000°C時，LAI 才能達到最大值。3 及 5 月種植期約需5個月左右才能達到所需的溫度總和，1 月種植期則所需時間約至少 6 個月，11月種植期則更久 (6.9個月)，7及9月種植期最少要在7個月以上，甚至更久。11、1、3及5月種植期達到最大 LAI 的時間都在夏季秋初，此時正是一年當中氣溫最高且日照最充足的時刻；7及9月種植期達到最大 LAI 的時間約在春季，爲氣溫及日照在渡過寒冬後開始復甦之際。由此可見，水芋不同種植期因生育期間所處氣候上的差異，使溫度總和達到4000°C的所需生育時間並不相同，因此倘若以傳統的生育日數法之物理時間來解析水芋葉面積指數的動態，將因季節變異性而可能造成誤差，反之，利用生育度數法之溫度時間可以獲得較爲明確的結果。

表 3. 水芋不同種植期下由 lnLAI=a+b₁ST+b₂ST² 公式以每隔500°C之時間劃分尺度估計不同溫度總和的 LAI 值

Table 3. Estimation of LAI at different temperature sums when thermal time scale is 500°C from the equation $lnLAI=a+b_1ST+b_2ST^2$ for wetland taro under different transplanting months

ST (°C)	Nov.[z]		Jan.		Mar.		May		July		Sept.	
	1[y]	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
500	0.10	0.03	0.06	0.03	0.12	0.15	0.36	0.14	0.13	0.12	0.15	0.19
1000	0.25	0.09	0.19	0.09	0.24	0.33	0.48	0.29	0,21	0.22	0.26	0.31
1500	0.54	0.22	0.46	0.25	0.46	0.67	0.63	0.53	0.32	0.37	0.44	0.48
2000	1.03	0.47	0.97	0.60	0.77	1.18	0.78	0.86	0.47	0.57	0.67	0.69
2500	1.73	0.85	1.71	1.20	1.16	1.82	0.92	1.26	0.66	0.81	0.97	0.93
3000	2.57	1.30	2.56	2.04	1.57	2.49	1.04	1.65	0.87	1.05	1.29	1.20
3500	3.37	1.70	3.24	2.95	1.90	2.98	1.12	1.94	1.09	1.26	1.62	1.46
4000	3.90	1.90	3.46	3.61	2.06	3.15	1.15	2.04	1.31	1.39	1.89	1.67
4500	3.98	1.81	3.13	3.74	2.01	2.92	1.13	1.93	1.49	1.41	2.05	1.81
5000	3.57	1.47	2.39	3.30	1.76	2.39	1.06	1.63	1.61	1.30	2.08	1.86

[z] transplanting month
[y] year cycle

進而以每 500°C 爲時間的劃分尺度，將兩年各六個種植期水芋之生育期劃分爲等距的時段，分別由其各自所求配的二次指數函數（圖2）以估計出各時段的 LAI 估值，結果列於表3。由表中顯示，倘溫度總和不足1500°C，所有種植期的 LAI 不可能超過1；當溫度總和大於2000°C時，第一週年11月及第二週年 3 月種植期的 LAI 開始大於1；一旦溫度總和大於3000°C以上，所有種植期的 LAI 均已大於 1 ；當溫度總和超過4000°C以上，11月、1 月、3 月及 5 月種植期的 LAI 值已開始下降，而 7 月及 9 月的 LAI 雖未下降但增加速率變得緩慢；倘溫度總和高過5000°C，除了 9 月種植期以外，其他月份種植期的 LAI 都處於變化曲線下降狀態中。由於水芋不同種植期之 LAI 在移植後均呈快速直線成長，直到溫度總和達4000°C時其值最大，之後 LAI 便開始變小或增加速率變緩，因此在溫度總和達到4000°C之前各種植期 LAI 隨溫度總和（ST）遞增的速率可以利用直線迴歸分析所估得的迴歸係數表示，迴歸分析結果示如圖 3 ，所有種植期配合直線迴歸式均相當良好，決定係數 R^2 都在0.92以上。由圖3顯示，六個種植期中以11月種植期之 LAI 增加速率(迴歸係數)在不同年度之間的差異最大，第一週年11月種植期的 LAI 增加速率爲每累計1000°C可增加約1.2的 LAI 值，但第二週年的水芋葉面積在移植後即僅以第一週年的一半速率在成長，因此在溫度總和4000°C時兩年 LAI 的差距高達2.0；3月種植期在不同年度之間亦存有差異，第一週年之 LAI 增加速率約爲第二週年的2／3，兩年之間的差異不如11月種植期，故到溫度總和4000°C時兩年 LAI 差異約爲1.0；5月種植期下不但兩年之 LAI 增加速率略有不同，且兩年所求之迴歸線並相交於1500°C，顯示1500°C之前第一週年 LAI 大於第二週年，但到1500°C之後則反而第二週年 LAI 大於第一週年，隨後第二週年並以稍高的生長速率遞增，到溫度總和4000°C時兩年 LAI 差距約0.9；1月、7月及9月種植期之 LAI 增加速率在不同年度之間的變異甚小，此三個種植期中以 1 月種植期的 LAI 增加速率最大，即溫度總和每累計1,000°C其 LAI 值可增加1.1，其次爲9月種植期，溫度總和每累計1000°C其 LAI 值可增加約 0.5，至於7月種植期則以每累計溫度總和1000°C約增加0.4的 LAI 值之生長速率在變化。按不同種植期 LAI 增加速率有差異，主要決定於水芋在移植後到溫度總和達4000°C之期間的氣候變化，例如於1月份種植後正好是由冬季進入春季，氣溫開始回升，接著經過高溫多日照的夏季，在 7 月中旬 LAI 達到最大值，在這過程中高溫對水芋葉面積的形成及擴展均極有助益，故其 LAI 增加速率最大；反之，水芋於 7 ─ 9 月種植，整個葉片生長期正好是由夏季邁入秋季，氣溫由高而逐漸變低，並渡過冬季直到翌年春季，氣溫普遍較低且日照較不充足，對水芋葉面積的發育及生長並不適合，因此影響 LAI 的生長速率偏低，同時也造成達到最大 LAI 值的時間延長，倘逢低溫時間愈久，於收穫時或許都未能有明顯之 LAI 最大值出現。至於11月種植期之 LAI 增加速率存在明顯的年度變異性，則與移植後生長初期是否遇到低溫有關，如圖 4 之比較同一月份在兩年的氣候變化差異，雖然第二週年於11月種植後其生長初期(移植後前三個月)的日射量較第一週年高，但第二週年在移植後前兩個月遭遇明顯低溫，以致造成該年水芋葉面積的生長在一開始就受到嚴重影響，故其 LAI 增加速率甚低於第一週年。3 月種植期於生長初期在兩年之間的最高日溫及最低日溫均無明顯差異（圖 4），顯然氣溫並不是影響其 LAI 增加速率差異的主要原因，按本省水芋於 3 月種植後其生長初期恰逢梅雨季節，第一週年的雨量較多造成日射量不足（圖 4），不利於水芋葉片之生長發育，故使得第一週年 LAI 增加速率低於第二週年。5 月種植期在第一週年移植後第一個月的最高日溫及最低日溫均略高於第二週年，但在移植後第二、三個月（7、8月）期間因連續受到滯留鋒面及颱風外圍環流影響，有豪雨發生，以致日射量較歷年氣候值偏低，此或許說明了 5 月種植期第一週年之 LAI 在1500°C（累計約需1.7個月）之前大於第二週年但之後便明顯較小的原因。綜言之，本省臺中地區全年之中，似乎以 1 月冬季種植水芋最爲理想，其 LAI 增加速率最高且年度變異最小；提前於11月秋季種植，倘生長初期未遭受低溫逆境，其 LAI 之表現有可能優於1月種植期；延後至 3 月春季種植則生長初期可能因梅雨導致日

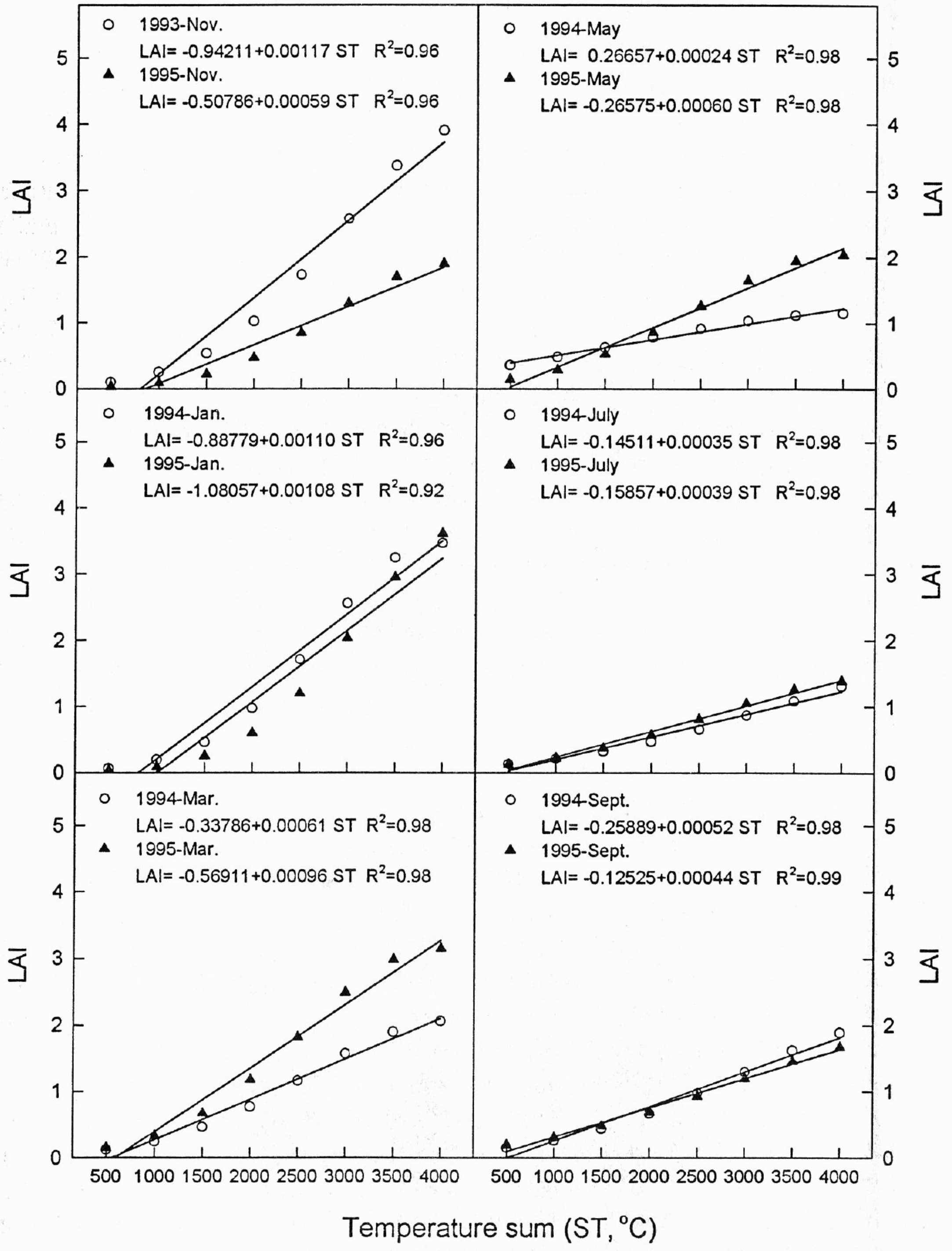

圖 3. 水芋不同種植期下葉面積指數與生育期間溫度總和之間的關係（實線爲迴歸線）

Fig. 3. Relationship between leaf area index(LAI)and temperature sums(ST)during the growing seasons for wetland taro under different transplanting months.(solid line for regression)

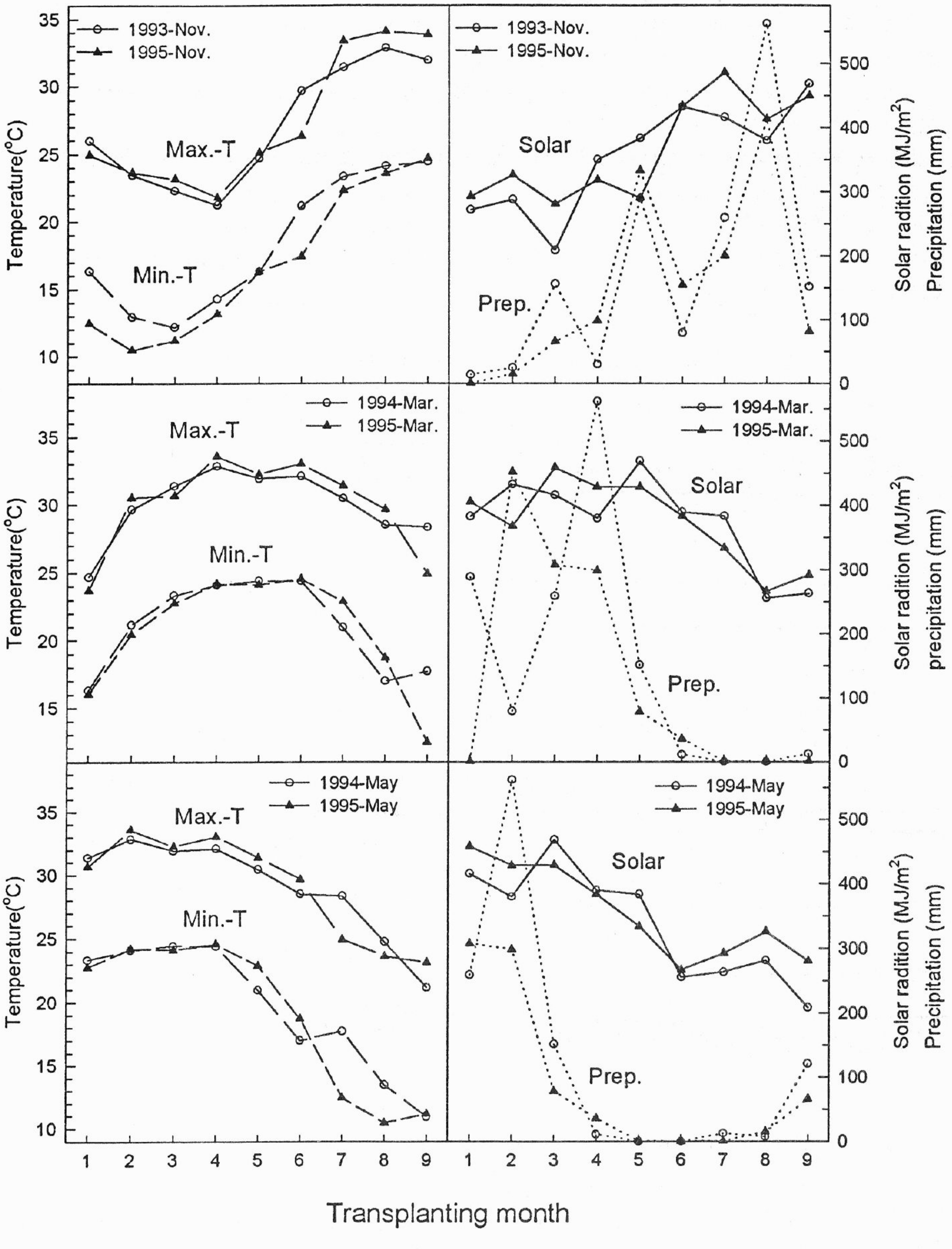

圖 4. 1993至1995年水芋栽培期間在臺灣省農業試驗所的每月日最高溫、最低溫、累積日射量及降雨量之變化

Fig. 4. Changes of maximum daily temperature, minimum daily temperature, monthly solar radiation and monthly precipitation at Taiwan Agricultural Research Institute during the 1993—1995 growing seasons for wetland taro.

射量不足，對 LAI 將多少有影響；於 5 月春末夏初種植可能遭受颱風爲害，使葉面積受損；於7—9月夏季秋初種植因整個生育期的低溫及日射量不足，故不適合水芋 LAI 成長。由此可知，不同種植期下影響水芋葉片生長的主要氣候因素，並不盡相同。

LAI 增加速率及最大值之提高，將影響水芋乾物質生產之增加[4]。因此不同種植期下 LAI相異之表現，對水芋球莖收穫產量所造成的影響，可利用 LAI 或累積 LAI (CLAI) 與球莖乾物重間的關係即可獲知。兩年各六個種植期於移植後第九個月的收穫球莖產量 (CDW_{HV}) 及溫度總和達4000°C時之 CLAI 估值 ($CLAI_{4000}$) ，列於表 4 。CDW_{HV} 隨最大 LAI 值 (LAI_X) ，以及 CDW_{HV}隨$CLAI_{4000}$ 的直線迴歸關係均極顯著存在，表示 LAI 增加速率及最大值愈大，球莖產量則愈高，其關係式之估計值列於表 5 。由估算式得知，LAI_X 提高1單位時，CDW_{HV} 可增加約68公克；當$CLAI_{4000}$提高1單位時，CDW_{HV} 可增加約24公克。

表 4. 水芋不同種植期下的收穫球莖乾物重(CDW_{HV})及溫度總和達4000°C時之 CLAI 估值($CLAI_{4000}$)

Table 4. Measured corm dry weight at harvest (CDW_{HV}) and estimated cumulative LAI at temperature sum reach 4000°C ($CLAI_{4000}$) for wetland taro under different transplanting months

ST (°C)	Nov.[z]		Jan.		Mar.		May		July		Sept.	
	1[y]	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
CDW_{HV}(g)	354.25	133.65	283.04	197.36	173.07	330.71	131.57	220.91	194.42	108.22	188.47	129.33
$CLAI_{4000}$	13.48	6.56	12.65	10.78	8.27	12.76	6.47	8.70	5.05	5.77	7.28	6.93

[z] transplanting month
[y] year cycle

表 5. 水芋收穫球莖乾物重(CDW_{HV})隨最大 LAI 值(LAI_X)及溫度總和達4000°C時之 CLAI 估值($CLAI_{4000}$)之直線迴歸分析

Table 5. Linear regression analysis[z] of corm dry weight at harvest (CDW_{HV}) on maximum LAI (LAI_X) and estimated cumulative LAI at temperature sum reach 4000°C ($CLAI_{4000}$) for wetland taro

	Intercept a	Slope b	Coefficient of determination R^2	Coefficient of correlation r
CDW_{HV} vs LAI_X	41.71	68.06	0.655	0.809
	(39.84)[y]	(15.62)		
CDW_{HV} vs $CLAI_{4000}$	−7.66	24.23	0.789	0.888
	(36.34)	(3.96)		

[z] Equation : $Y=a+bX$, Y is CDW_{HV} and X is LAI_x or $CLAI_{4000}$.
[y] Standard error of a and b.

討　論

由上述結果得知，利用從水芋移植日後起所累計的大於0°C之每日平均氣溫的總和，可以預測水芋 LAI 達到最大值所需的溫度時間至少在4000°C以上。在任一瞬間之植株葉面積與群落之葉面積指數均爲淨量 (net quantities) ，即在經由葉片形成、出現及擴展過程所增加的葉面積與因老化減少的面積之間達到的平衡[27,31]，因此，通常植物在某一階段時會因爲葉片生長不再增加但隨後老化加速，以致造成葉面積指數的變化趨勢在達到一高峰值後即快速降低。藉由溫度時間對水芋 LAI 生長之

動態解析，可以預測不同種植期達到最大 LAI 值的發生時間。但是不同種植期之 LAI 增加速率及最大值會因氣候差異影響而表現不一，其中以氣溫最爲重要，其次爲日射量。

葉片生長分析主要在探討(1)單位面積光合作用速率，及(2)總葉面積增加速率如何受環境因素的影響。溫度影響葉片生長大多在於改變葉片表面的擴展速率，而較少改變光合作用速率[46]。由Potter and Jones[39]試驗顯示葉片的相對生長速率隨溫度增高而加速，並與相對葉面積擴展速率呈正相關，但與淨同化速率無關，因此葉片對溫度之反應主要決定在於新形成乾物質分配至葉片表面的量達到多少程度。Forde *et al.* [13]指出葉片光合作用及澱粉累積對溫度較不敏感，但會受到日射量之影響，光線強度對葉片生長的影響主要在於增加光線以加快光合物質之生成，以使植物能更快形成新葉並加速展開[23,45]。葉片表面之擴展受到一些因素影響，如葉片生成及老化的速率、分枝及分蘗、葉片擴展的速率及持續期等[46]。當溫度提高至由20°C或30°C時，葉片之生成變得較快[12,15,45]，在葉片分化初期及未展開期間以溫度及氮素的影響最大[30]，此時細胞分裂最爲活躍[45]。一旦形成，單葉生長在20°C及30°C之間通常也最快[5,37]。然而，葉片生長持續期在溫度低於20—25°C以下隨著溫度降低而延長[5,12]。葉片最後的大小爲葉片擴展速率及持續期之乘積[38]，因此縱然田間葉面積的變化其實混雜著許多因素的綜合，而溫度仍是影響葉面積的最重要因子。穀類作物葉片伸長速率也以溫度較水份潛勢或二氧化碳濃度之影響較大[17,22]，固定溫度下葉片會維持固定的生長速率[16]。水份逆境及氮肥之所以能增加葉面積，純粹在於其能加速葉片擴展速率，而非擴展持續期；溫度仍然是影響葉片擴展持續期的最大因子[20,31]。葉片擴展持續期與溫度之間關係的基礎，迄今尙不清楚，就大豆而言，Auld *et al.*[5]認爲葉片擴展持續期很有可能與競生嫩葉之發育速率有關，此亦強烈受到溫度之影響。

另外，溫度也會造成葉片形態及解剖上的改變，不過其影響程度不如葉片之擴展[35]，溫度降低會使葉片變得較寬而短，且葉柄及中脈長度減少[45]，溫度提高則使葉片變薄而長[14,47]。Charles-Edwards *et al.*[8]也指出低溫會使葉肉細胞變得較大，以致造成葉片厚度及每單位面積葉組織量之增加。Peet *et al.*[37]發現葉片厚度、葉比重（specific leaf weight）及可萃取之酵素活性都會因爲低溫而增加。

本研究探知水芋葉片生長與溫度時間的關係在整個生長期爲二次指數函數，在直線生長相（LAI 達到最大值之前）時葉面積則與溫度時間呈直線關係，因此利用溫度時間可以預估植冠形成的各種過程。珍珠粟[34]之熱帶穀類作物及甜菊[35]之多年生作物在直線生長相的葉片擴展速率與平均溫之間也呈直線相關。例如 Squire *et al.*[43]指出珍珠粟的葉面積指數（LAI）與以10°C爲基礎溫度之溫度時間呈直線關係，從播種到快速擴展開始所需的溫度時間爲300°C，達到 LAI＝5 的溫度時間爲500°C。冬季穀類中有10%的葉片生長與計算0°C以上之溫度時間呈指數關係，而90%則與該溫度時間爲直線關係[16]。溫帶穀類作物同一部位的葉片擴展速率與溫度之間呈直線關係，倘若混合不同葉位資料進行分析時，葉片擴展速率對平均溫爲曲線反應[36,49]或仍爲直線反應[21]。絕大部分作物在直線生長相期間葉片擴展持續期爲溫度之直線函數[12,16]，此意味著當溫度固定時，所有葉片的持續期均相似，因此葉片大小之差異一定是葉片擴展速率不同所引起。在控制環境下生長的向日葵，當溫度固定時葉片擴展持續期及擴展速率都會隨著部位遞升而增加，但提高溫度卻會減少向日葵特定部位的葉面積，這是因爲擴展速率並沒有增加；顯然在生長箱環境中由於光線滲透不好，故造成葉片擴展速率因缺乏同化物質而受到限制，因此溫度時間最好是應用於田間資料分析，倘若是在人工環境中進行，則必須確定溫度效應不會混雜有其他因素[35]。

至於溫度時間之計算，一般是採用有效積溫，即在特定生育期中累計每日平均氣溫減去基礎溫度後所得溫度的總和。有關芋作物之葉片或球莖生長所需的基礎溫度，至今仍然未知。而Ong and Barker[35]指出，即使葉片生長所需的基礎溫度能經由外插法計算而得，其估值之準確度也可能會受到其他未控制因素（如濕度、光週期及缺水等）的影響。對此，本研究採用 Petr[38]的方法，以累計

每日大於0°C的平均氣溫之總和作爲溫度時間，也可有效預測水芋的葉片生長。倘若芋葉片生長的基礎溫度已知，則從本研究所建立之 LAI 與溫度總和之間的二次指數迴歸函數公式亦可推導出以有效積溫爲時間單位的 LAI 動態分析結果。假設芋葉片生長的基礎溫度爲 T_b，從水芋移植日起至某日的有效積溫（ST_e）爲到該日止每日平均氣溫減去基礎溫度之總和，即等於每日大於0°C之溫度總和（ST）減去基礎溫度總和（$\Sigma T_b = ST_b$），即 $ST_e = ST - ST_b$ 故，$ST = ST_e + ST_b$，將此等式代入本研究已建立之 LAI 與溫度總和的關係式 $ln\mathrm{LAI} = f(ST) = a + b_1ST + b_2ST^2$ 中，於是該二次函數可以改寫成 $ln\mathrm{LAI} = f(ST_e) = \acute{a} + b'_1ST_e + b'_2ST_e^2$，式中 $\acute{a} = a + b_1ST_b + b_2ST_b^2$, $b'_1 = b_1 + 2b_2ST_2$，$b'_2 = b_2$，顯然不論採以溫度總和或有效積溫爲溫度時間，對函數中的二次項迴歸係數並沒有影響，即 LAI 生長曲線向下彎度的變化並不會因爲溫度時間之不同而有差異；根據以有效積溫爲溫度時間所建立的二次函數式 $f(ST_e)$，進而利用其一次微分等於0，解得在 $ST_e = -b'_1/2b'_2 = -(b_1 + 2b_2ST_b)/2b_2 = -b_1/2b_2 - ST_b$ 時 LAI 可達到最大值，由此可知以有效積溫爲溫度時間所預估出的水芋 LAI 達最大值所需之溫度時間，正好相當於是以溫度總和爲溫度時間所得結果減去一個固定值，該固定值即爲自移植日起到該日的基礎溫度總和（ST_b）。

引用文獻

1. 呂秀英、陳烈夫、呂椿棠、賴吉雄。1995。以 Richards 函數建立水芋之生長模式。中華農學會報 171：22—34。
2. 高景輝、湯文通。1977。植物生長與分化。國立臺灣大學農學院印行。第142—149頁。
3. 許福星。1990。度積溫在作物栽培管理上之應用。科學農業 38：138—141。
4. 陳烈夫、呂秀英、呂椿棠、賴吉雄。1994。水芋葉面積與乾物質生產之關係。中華農業研究 44：59—71。
5. Auld, B. A., M. D. Dennett, and J. Elston. 1978. The effect of temperature changes on the expansion of individual leaves of *Vicia faba* L. Ann. Bot. 42：877—888.
6. Baker, C. K. and J. N. Gallagher. 1983. The development of winter wheat in the field. 2. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod. J. Agric. Sci., Camb. 101：337—344.
7. Bauer, A., A. B. Frank, and A. L. Black. 1984. Estimation of spring wheat leaf growth rates and anthesis from air temperature. Agron. J. 76：829—835.
8. Charles-Edwards, D. A., J. Charles-Edwards, and F. I. Sant. 1974. Leaf Photosynthetic activity in six temperate grass varieties grown in contrasting light and temperature environments. J. Expl. Bot. 25：715—724.
9. Colville, D. C. and K. J. Frey. 1986. Development rate and growth duration of oats in response to delayed sowing. Agron. J. 78：417—421.
10. Cross, H. Z. and M. J. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agron. J. 64：351—355.
11. Daughtry, C. S. T., J. C. Cochran, and S. E. Hollinger. 1984. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. Agron. J. 76：415—420.
12. Dennett, M. D., J. Elston, and J. R. Milford. 1979. The effect of temperature on the growth of individual leaves of *Vicia faba* L. in the field. Ann. Bot. 43：197—208.
13. Forde, B. J., H. C. M. Whitehead, and J. A. Rowley. 1975. Effect of light intensity and temperature on photosynthetic rate, leaf starch content and ultrastructure of *Paspalum dilatatum*. Aust. J. Plant Physiol. 2：185—195.
14. Friend, D. J. C., V. A. Helson, and J. A. Fisher. 1962. Leaf growth in Marquis wheat as regulated by temperature, light intensity and daylength. Can. J. Bot. 40：1299—1311.
15. Fukai, S. and J. H. Silsbury. 1976. Response of subterranean colver communities to temperature. I. Dry

matter production and plant morphogenesis. Aust. J. Plant Physiol. 3 : 527—543.

16. Gallagher, J. N. 1979. Field studies of cereal leaf growth. I. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. J. Expl. Bot. 30 : 625—636.

17. Gallagher, J. N. and P. V. Biscoe. 1979. Field studies of cereal leaf growth. III. Barley leaf extension in relation to temperature, irradiance, and water potential. J. Expl. Bot.30 : 645—655.

18. Gilmore, E. C. and J. S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agron. J. 50 : 611—615.

19. Hawkins, R. C. and P. J. M. Cooper. 1981. Growth, development and grain yield of maize. Expl. Agric. 17 : 203—207.

20. Karamanos, A. J. 1976. An Analysis of the Effect of Water Stress on Leaf Area Growth in *Vicia faba* L. in the Field. Ph. D. thesis, University of Reading.

21. Keatinge, J. D. H., R. H. Stewart, and M. K. Garrett. 1979. The influence of temperature and soil water potential on the leaf extension rate of perennial ryegrass in Northern Ireland. J. Agric. Sci., Camb. 92 : 175—183.

22. Kemp, D. R. and W. M. Blacklow. 1980. Diurnal extension rates of wheat leaves in relation to temperature and carbohydrate concentration of the extension zone. J. Expl. Bot. 31 : 821—828.

23. Ketring, D. L. 1979. Light effects on development of an indeterminate plant. Plant Physiol. 64 : 665—667.

24. Ketring, D. L. and T. G. Wheless. 1989. Thermal time requirements for phenological development of peanut. Agron. J. 81 : 910—917.

25. Kirby, E. J. M., M. Appleyard, and R. J. Fellowes. 1982. Effect of sowing date on the temperature response of leaf emergence and leaf size in barley. Plant, cell and Environ. 5 : 477—484.

26. Klepper, B., R. W. Rickman, J. F. Zuzel, and S. E. Waldman. 1988. Use of growing degree days to project sample dates for cereal crops. Agron. J. 80 : 850—852.

27. Littleton, E. J., M. D. Dennett, J. Elston, and J. L. Monteith. 1979. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions. I. Leaf area. J. Agric. Sci. 93 : 291—307.

28. Manrique, L. A. and D. P. Bartholomew. 1991. Growth and yield performance of potato grown at three elevations in Hawaii: II. Dry matter production and efficiency of partitioning. Crop Sci. 31 : 367—372.

29. Mederski, H. J., M. E. Miller, and C. R. Weaver. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. Agron. J. 65 : 743—747.

30. Milford, G. F. J. and J. Riley. 1980. The effects of temperature on leaf growth of suger beet varieties. Ann. Appl. Biol. 94 : 431—443.

31. Monteith, J. L. and J. Elston. 1983. Performance and productivity of foliage in the field. pp. 499—518. *In* J. E. Dale and F. L. Milthorpe. (ed.) The Growth and Functioning of Leaves. Cambridge, London.

32. Moore, K. J. and L. E. Moser. 1995. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. Crop Sci. 35 : 37—43.

33. Ong, C. K. 1983. Response to temperature in a stand of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). 1. Vegetative development. J. Expl. Bot. 34 : 322—336.

34. Ong, C. K. 1983. Response to temperature in a stand of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). 4. Extension of individual leaves. J. Expl. Bot. 34 : 1731—1739.

35. Ong, C. K. and C. K. Baker. 1985. Temperature and leaf growth. pp. 175—200. *In* N. R. Baker, W. J. Davies, and C. K. Ong. (ed.) Control and Leaf Growth. Cambridge, London.

36. Peacock, J. M. 1975. Temperature and leaf growth in *Lolium Perenne.* II. The site of temperature

perception. J. Appl. Ecol. 12 : 115—123.

37. Peet, M. M., J. L. Ozbun, and D. H. Wallace. 1977. Physiological and anatomical effects of growth temperature on *Phaseolus vulgaris* L. cultivars. J. Expl. Bot. 28 : 57—69.

38. Petr, J. 1991. Weather and Yield. Elsevier, Amsterdam.

39. Potter, J. R. and J. W. Jones. 1977. Leaf area partitioning as an important factor in growth. Plant Physiol. 59 : 10—14.

40. Russelle, M. P., W. W. Wilhelm, R. A. Olson, and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. Crop Sci. 24 : 28—32.

41. Satou, T., M. Kawai, and T. Fukuyama. 1978. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott). Japan. J. Crop Sci. 47 : 425—430. (Japanese with English summary) .

42. Satou, T., E. Miyauchi, and H. Sugimoto. 1988. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott). Japan. J. Crop Sci. 57 : 305—310. (Japanese with English summary) .

43. Squire, G. R., B. Marshall, A. C. Terry, and J. L. Monteith. 1984. Response to temperature in a stand of pearl millet. 5. Light interception and dry matter production. J. Expl. Bot. 35 : 599—610.

44. Squire, G. R. and C. K. Ong. 1983. Response to saturation deficit of leaf extension in a stand of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). 1. Interaction with temperature. J. Expl. Bot. 34 : 846—855.

45. Terry, N. 1968. Developmental physiology of suger beet. 1. The influence of light and temperature on growth. J. Expl. Bot. 19 : 795—811

46. Terry, N., L. J. Waldron, and S. E. Taylor. 1983. Environmental influence and leaf expansion. pp. 179—205. *In* J. E. Dale and F. L. Milthorpe. (ed.) The Growth and Functioning of Leaves. Cambridge, London.

47. Turner, D. W. and E. Lahav. 1983. The growth of banana plants in relation to temperature. Aust. J. Plant Physiol. 10 : 43—53.

48. Wang, J. Y. 1967. Microenvironments and crop production. pp. 70—172. *In* J. Y.Wang. (ed.) Agricutural Meterology. Palo Alto, California.

49. Williams, C. N. and E. R. Biddiscombe. 1965. Extension growth of grass tillers in the field. Aust. J. Agric. Res. 16 : 14—22.

Seasonal Variation in Leaf Area Index Dynamics for Wetland Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] [1]

Lit-Fu Chan[2], Chun-Tang Lu[3] and Hsiu-Ying Lu[3]

Summary

Seasonal variation in the dynamics of leaf area index (LAI) for wetland taro was studied by using thermal time analysis. The thermal time was sum of average daily air temperatures above 0°C computed from the date of transplanting. The LAI of taro was the second-order polynomial exponential function of temperature sums. A thermal time of 4000°C was required from transplanting to the maximum value of LAI in all transplanting months. Differences in the rates of increase and maximum values of LAI depended largely on the climatic variation, especially on the air temperature. Solar radiation was the second cause of large variation in leaf growth of taro. When transplanting in January, the rate of increase and maximum value of LAI was largest, and the annual deviation in the dynamics of leaf growth was smallest. Earlier planting to November and delayed planting to March or May, low temperature, plum rains and typhoons might decrease the leaf growth. Temperature and solar radiation were less favorable during the whole growing period of taro leaf when transplanting in July to September. The corm dry weight at harvest (CDW_{HV}) was linear related to maximum value of LAI (LAI_X) and cumulative LAI reached 4 000°C ($CLAI_{4000}$). One unit change in LAI_x resulted in a change of 68g in CDW_{HV}. One unit change in $CLAI_{4000}$ resulted in a change of 24g in CDW_{HV}.

Key words : Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), Leaf area index, Dynamics, Thermal time, Temperature sum, Corm yield.

---

1. Contribution No. 1910 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Research Assistant and Statistician, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(3)：278～293（1997）

甜楊桃果實外銷適性之研究[1]

王子慶[2]　謝慶昌[3]　林德勝[4]

摘要：本研究之目的在探討不同品種甜楊桃於模擬外銷貯運作業流程下之品質變化，並評估其外銷適性與潛力。試驗結果顯示五種甜楊桃經低溫檢疫模擬外銷貯運作業流程後，糖度、可滴定酸及硬度等均有下降的趨勢，pH值會升高，失重均低於２％，低溫可抑制各品種楊桃之黃化現象。經最後之官能品評及整體評估認爲以秤錘種、青壠種在低溫檢疫模擬外銷貯運後仍可維持較佳的品質並有較高的商品可售率（秤錘種約100%及青壠種83%以上），故最適合外銷，二林種次之，楊桃臺農一號及馬來西亞種則因有將近30%之擦壓傷及約有100%之果實發生寒害而不適合外銷。

關鍵詞：楊桃、外銷、檢疫。

前　言

楊桃（*Averrhoa carambola L.*）果實成熟後之肉質多汁、味美，頗受消費者所喜愛，楊桃爲屬於酢漿草科的常綠灌木，結果期長，周年供果期可長達八個月(2)，臺灣栽植的甜楊桃品種很多，近年來隨著品種改良、栽培技術改進及消費市場需求品種亦見更新，目前較穩定栽培的品種有秤錘種、青壠種、二林種、楊桃臺農一號(1,3)及馬來西亞種。栽植面積約爲1,900公頃，產量32,162公噸(7)，主要之栽培地區爲臺南、彰化、苗栗、臺中及屏東等縣，民國77年間省產楊桃曾有外銷的紀錄，但可能因成本或貯運等問題而停止外銷(6)，由於我國加入世界貿易組織(WTO)腳步日近，其對農業之衝擊必不可忽視，爲開拓楊桃產業新機並賺取外匯，楊桃之外銷出口是一條值得嚐試與努力的道路。依照美國聯邦公報（federal regulations）(18)中之規定准許臺灣產楊桃以冷藏處理法(cold treatments)輸入美國，處理方法是1.6°C以下冷藏14天，且可在運輸途中完成處理，主要檢疫對象爲東方果實蠅(oriental fruit fly)，處理之時機可在輸出國、運輸中或美國本土，由於臺灣爲東方果實蠅之疫區，又因楊桃果實特性及爭取時效、確保品質起見，青果社之輸美楊桃均以在貨運途中實施約1°C14日之冷藏處理檢疫，至85年６月止，已出口約400公噸以上之楊桃至美國，賺取外匯超過3,000萬元(4)，唯品種僅限於秤錘種一種，本研究之目的在調查調查本省優良楊桃品種經模擬外銷貯運作業流程前後之品質、官能品評及可售率等，開發適合冷藏檢疫作業之品種，以供楊桃外銷新的選擇。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗以五個楊桃品種爲材料，各品種名稱如下：秤錘種（Cheng-chwei）、青壠種（Ching-chyan）、二林種（Er-lin）、臺農一號（Tainoung No.1）及馬來西亞種（Malaysia）。秤錘種取自臺南縣楠栖鄉及屏東縣里港鄉，青壠種取自彰化縣員林市，二林種取自臺中縣東勢鄉及苗栗縣卓

1. 臺灣省農業試驗所。研究報告第 1911 號。
2. 本所鳳山熱帶園藝試驗分所助理。臺灣省　高雄縣　鳳山市。
3. 國立中興大學農業經營系副教授。臺灣省　臺中市。
4. 臺灣省青果運銷合作社專員。臺北市。

蘭鎮，臺農一號取自臺南縣楠栖鄉，馬來西亞種取自臺中縣東勢鄉、苗栗縣卓蘭鎮及屏東縣里港鄉，提供試驗材料者，均爲具有多年栽種楊桃經驗之篤實農民，果實成熟度爲八分熟。

二、試驗方法

本試驗所用之各品種楊桃材料自田間採下，去除保果袋，套上 PE 塑膠袋，裝入紙箱後隨即於當日下午以前送入實驗室，並進行各項基本調查及成分分析，其餘部分則模擬外銷冷藏試驗，即1°C，14天→5°C，7天→25°C，3天，期間並定期取樣進行基本調查及成分分析。

各項基本調查及成分分析方法如下：

(一)包裝對楊桃之保護作用：爲了解現行使用於楊桃個別包裝之塑膠袋對其防止機械傷害之保護作用，將楊桃果實分爲 PE 塑膠袋包裝與未包裝二組，自高度 5cm 處自由落下於地面，隔日測定其因受傷而導致之褐化(browning)長度及深度，並以其所佔稜長及稜寬之百分比表示。

(二)失重百分比調查：楊桃果實於模擬外銷冷藏期間定期稱重，並與冷藏前之果實重量比較。

$$失重(\%)=(1-\frac{模擬外銷冷藏期間之果實重量}{冷藏前之果實重量})\times 100\%$$

(三)硬度測定：以 FUDOH RHEOMETER NRM-3010D 之硬度計測定果實稜面及稜緣，穿入棒之直徑 3 mm，速度30cm／min，壓下深度0.5mm，測定單位 g／3mmϕ，並以冷藏前之果實硬度爲基數100計算，換算成硬度指數（firmness index, F. I.）表示之。

$$F.I.=\frac{模擬貯運期間之稜面或稜緣硬度}{冷藏前之稜面或稜緣硬度}\times 100$$

(四)可溶性固形物：樣品打碎之後，使用 “ATAGO” Type N1 屈折計測定，以錘度（Brix degree,°Bx）表示之。

(五)可滴定酸度：樣品稱重，加五倍去離子水打碎之後，再以0.1%phenolphthalein(日本和光純藥)爲指示劑，以0.1N NaOH 滴定至 pH8.2 爲止，結果以 oxalic acid 含量百分比表示之。

(六)pH 值:將樣品以 blender 打碎，以 “BASIC” model-321 digital pH/mV meter 測定之。

(七)色澤：使用 Minolta Camera CO. LTD. 出品之 Chroma-meter(CR-100)，以白色標準板（L＝87.7，a＝0.311，b＝0.328）校正，取楊桃果稜之赤道面測定 L.a.b. 值，並以黃化指數（yellowingindex, Y.I.）表示之，$Y.I.=\tan^{-1}|b/a|$。而黃化指數變化值（%）是以冷藏前果實之黃化指數爲基數100，計算貯藏期間之果實黃化情形。

(八)擦壓傷調查：調查包括稜面及稜緣遭受擦壓傷之個數，並以百分比表示之。

(九)寒害（chilling injury）觀測：以肉眼觀測楊桃果實因低溫障礙而發生寒害徵狀之楊桃個數，並以百分比表示之。

(十)腐爛率調查：調查楊桃在模擬外銷貯運過程後腐爛之楊桃個數，並以百分比表示之。

(十一)可售率調查：楊桃在模擬外銷貯運過程後，調查外觀良好仍具有商品價值之果實個數，並以百分比表示之。

(十二)官能品評：爲了解楊桃模擬外銷貯運前後的差異及爲消費者所接受的程度，故進行官能品評，調查項目包括外觀、顏色、香氣、組織及整體評估，最後再分別評定等級，作爲提供篩選適合外銷楊桃品種之另一項重要參考依據。品評方法是由十名評員依九分制（即非常喜歡＝9，非常不喜歡＝1，不喜歡也不討厭＝5）分別對模擬貯運前後楊桃果實之外觀、顏色、香氣及組織，作嗜好性（preference）之官能品評。

結果與討論

一、包裝對楊桃果稜之保護

楊桃果實不論以 PE 塑膠袋包裝與否，五個品種楊桃自 5cm 之高度落下所造成之果稜褐化長度及褐化深度均以青墘種或秤錘種爲最低，而以馬來西亞種最高，二林種及楊桃臺農一號介於二者之間（圖1），由此結果可知秤錘種及青墘種比其他品種具有較堪機械碰撞或較耐貯運之優勢，雖然如

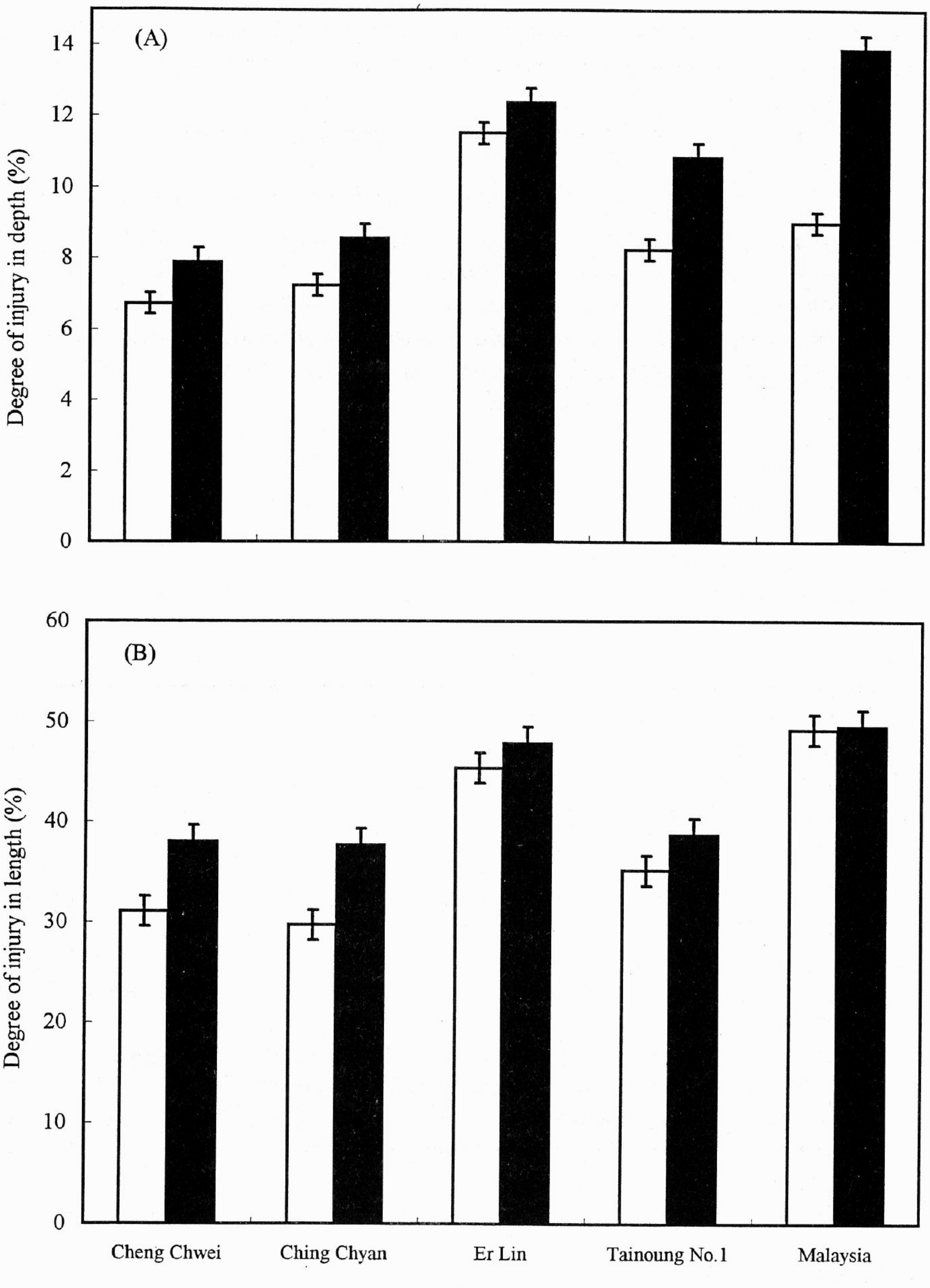

圖 1. 五種楊桃果實自5cm高度落下造成深度(A)及長度(B)之受傷情形□包裝■未包裝

Fig. 1. The degree of injury(%)in depth(A)and length(B)of five different carambola cultivars fallen from 5cm heigth. □packed. ■unpacked.

此，PE 袋對楊桃果稔之保護雖有但仍嫌不夠，各品種仍不宜自 5cm 之高度落下，因爲輕微的機械傷害所導致的褐化，會大大的影響外觀品質及降低消費者購買意願，錢氏[8]之研究指出，楊桃由產地至消費地之運銷損耗合計在15%以上，Oslund 和 Davenport[24] 指出果稔在處理作業時易受到傷害故在楊桃採收後之分級、包裝、集貨與貯運時，必須特別注意對楊桃果稔的保護。

二、失重調查

楊桃失水達 2 %即失去商品價値[5]，Brown 和 Wong[10] 發現楊桃果實個別套以塑膠袋時，可明顯減少低溫貯藏下失水，輸美外銷楊桃已可以套袋裝箱後進行冷藏處理檢疫，冷藏期間秤錘種及青墘種之失重幾乎爲 0 %（圖 2），其餘三品種之失重亦極低，其中秤錘種及楊桃臺農一號均爲0.27%，而馬來西亞種爲0.49%，顯示套袋確可減少低溫貯藏下失重；再經移入高溫之模擬櫥架販售期三日後，則以楊桃臺農一號0.38%之失重最低，秤錘種次低爲0.64%，青墘種最高爲1.19%，顯示青墘種楊桃在高溫下失重速度較快且失重大，但各品種在試驗結束後之失重均在 2 %以下；整體而言，楊桃果實套袋可以有效減少水分之蒸散以及減少失重。

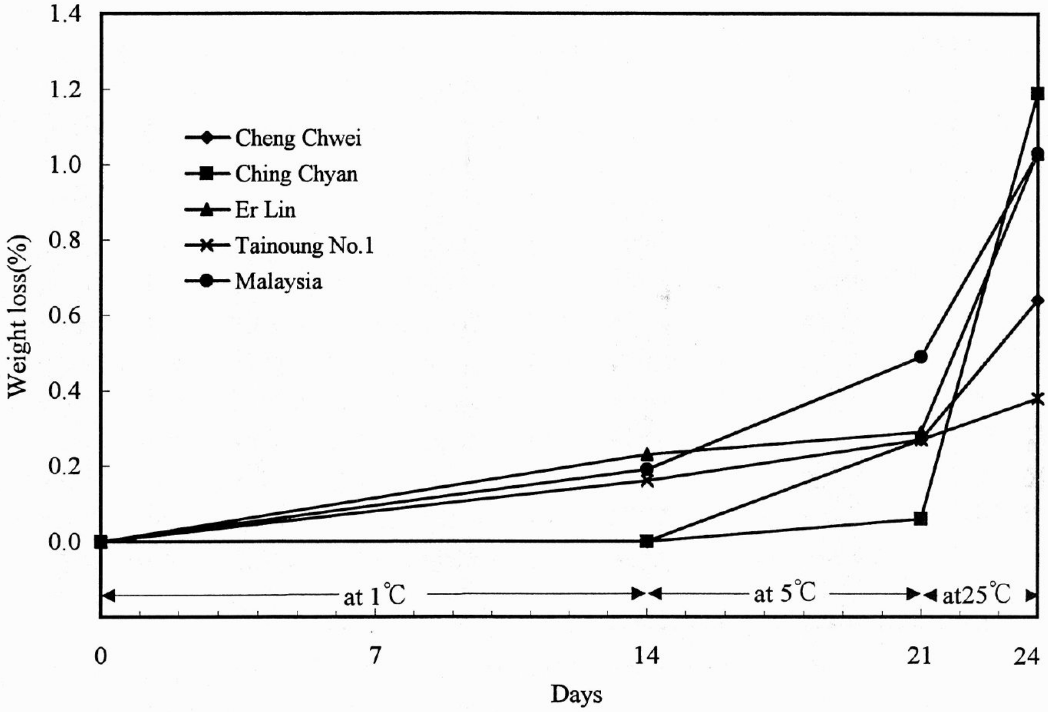

圖 2. 五種楊桃果實在模擬外銷貯運期間之失重變化情形

Fig. 2. Changes of weight loss(%) of five different carambola cultivars during simulated exportation.

三、硬度變化

楊桃鮮果剛自樹上採下時之果稔及稔緣硬度值均以楊桃臺農一號之406.0g／3mmφ及335.4g／3mmφ最高，秤錘種之391.6g／3mmφ及323.0g／3mmφ次之，以馬來西亞種之318.5g／3mmφ及275.8g／3mmφ最低（圖 3），果實採收後之組織常隨果膠（pectin）溶解度的增加而軟化，Campbel[12,13]指出楊桃果實貯藏期間之硬度會下降，Kwek 和 Ghazali[21] 則進一步指出此與 polygalacturonase 之活性增加有關，本研究亦發現楊桃在模擬外銷貯運過程中之硬度有下降的趨勢（圖 4），在低溫21天後，各品種楊桃果肉及稔緣仍均能維持良好的硬度，顯示低溫對維持果實硬度有正面之幫助，其中以秤錘種之稔面硬度維持最佳爲原硬度之91.5%，楊桃臺農一號次之爲86.8%，青埢種最差爲71.9%；馬來西亞種之稔緣硬度維持最佳爲原硬度之87.9%，二林種次之爲85.7%，楊桃臺農一號最差爲76.7%。當移至25°C經 3 天後，各品種楊桃果實之硬度皆會下降，其中仍以秤錘種稔面硬度維持最佳爲原硬度之90.2%，楊桃臺農一號次之爲83.1%，馬來西亞種最差爲67.4%；稔緣硬度方面亦以馬來西亞種維持最佳爲原硬度之80.9%，二林種次之爲76.2%，青埢種最差爲54.4%。這項結果說明了品種間存在的差異性，馬來西亞種之稔緣略有突起、收斂之現象，相信此爲導致其稔緣可維持較高硬度比例的原因；青埢種之稔緣在採收時多仍維持在青綠色之狀態，低溫下仍可維持近乎原色，但移入高溫之後，稔緣之青綠色多會褪掉而呈現黃化（yellowing）的情形發生並且伴隨稔緣硬度的下降。

四、顏色變化

楊桃果實在1°C下經14日後，五個品種之黃化指數變化不大，顯示在此低溫下黃化程度均受到明顯的抑制（圖 5），當移入5°C經 7 日後，除楊桃臺農一號有較顯著的黃化進行外，其他各品種仍受到良好的壓抑，此項結果與許多研究學者之報告[19,22,25]類似，但當移入25°C下經 3 日後，則除了秤錘種黃化指數變化值由101.3略增加爲102.2幾乎維持原色外，其餘各品種之黃化指數變化值均大於 3 而介於104.5至110.8之間，其中尤以二林種在移入高溫後之黃化程度最明顯，O'Hare[23] 也認爲楊桃果實當移入高溫下時，果皮顏色會隨著葉綠素的損失而轉黃，但各品種間會有所差異，另有學者指出低溫下貯放之果實有較佳的外觀[15,16]，以及套袋亦可抑制轉色[11,15,16]。

五、成分變化

楊桃之澱粉含量極少，故發生在馬鈴薯等根莖作物之低溫甜化（low temperature sweetening）現象，並未發生在楊桃果實上，各品種之可溶性固形物及可滴定酸度在試驗過程中均呈現下降（圖 6），而在低溫下之可溶性固形物及可滴定酸度之減少趨勢比在高溫下者，就程度上而言較爲緩和，此項結果與 Campbell 等[15,16]之結論相似，各品種間之可滴定酸度會有較大的差異，此結果亦與部份學者之報告[14,27]相符，試驗過程中各品種之 pH 值均會升高，彼此間有差異，糖酸比值則均會隨冷藏時間之增加而增加，此乃因冷藏期間可溶性固形物減少之程度遠低於可滴定酸度減少程度之故，其中以馬來西亞種最高爲87.0，秤錘種次之爲65.1，青埢種最低爲51.2。Grierson 和 Vines[19]認爲楊桃果實較適合之糖酸比值應低於14.1，但是，Brown 和 Wong[9]則認爲應有低的酸與高糖酸比值才較可口，本試驗發現各品種楊桃果實均含有較高的糖酸比值，這應是參試品種之不同與嗜好上的差異所致。

六、擦壓傷、寒害、腐爛及商品可售率調查

具尖銳稔緣之水果會比具有圓弧邊之水果更易受傷及顏色劣變[20,26]，楊桃正好屬於前者，所以更有必要瞭解在貯運過程中發生之擦壓傷，研究發現楊桃臺農一號及馬來西亞種均較易有擦壓傷之情形發生，楊桃臺農一號尤其高，在試驗終了時大約有27.9%之楊桃果實受到擦壓傷，顯示該品種在採收集運作業流程中具有相對弱勢之耐貯運能力，其他三品種則未觀察到擦壓傷之存存或極輕微（圖 7）

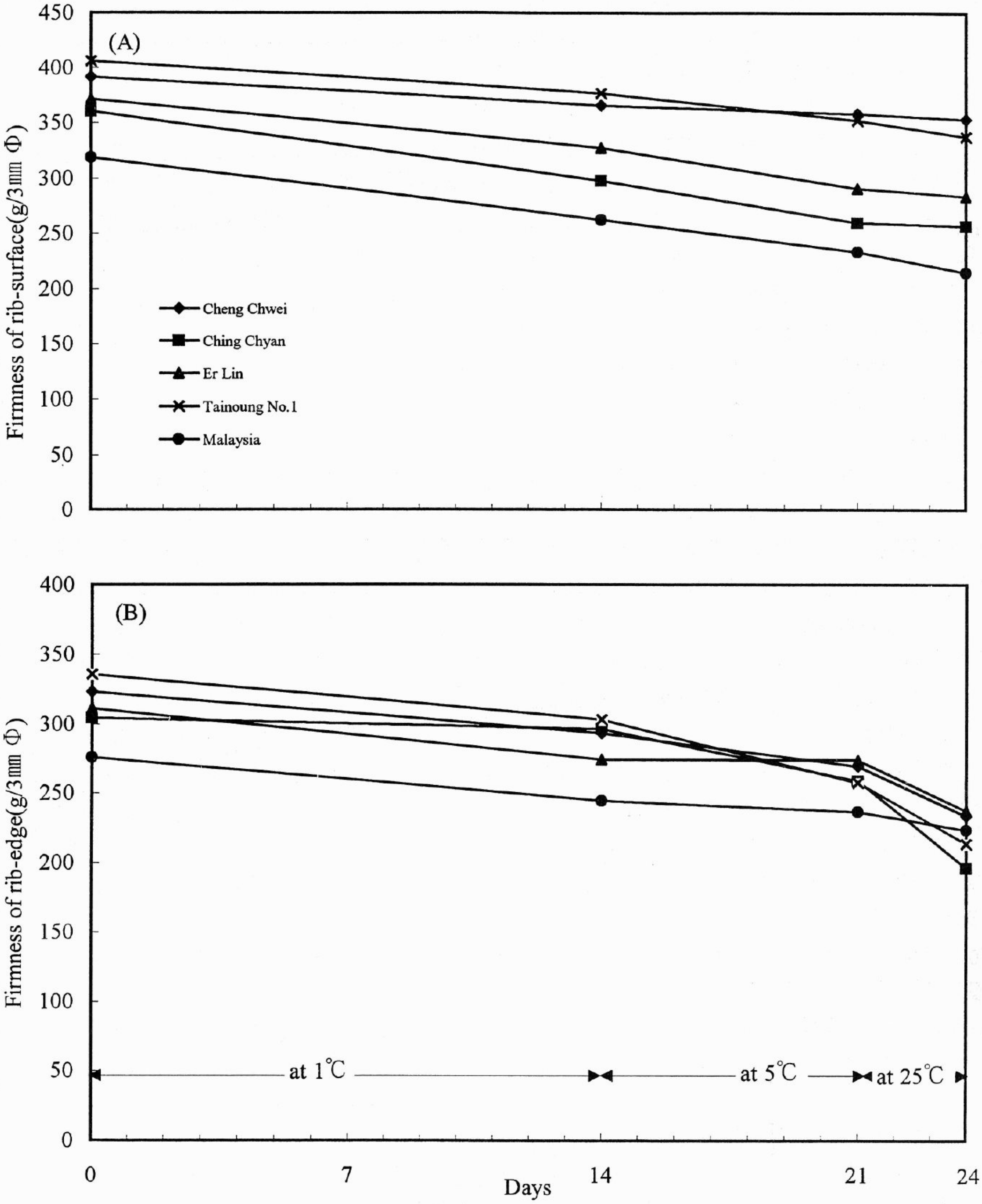

圖 3. 五種甜楊桃果實在模外銷貯運期間稜面 (A) 及稜緣 (B) 之硬度變化情形

Fig. 3. Changes of firmness of rib-surface (A) and rib-edge (B) of five different carambola cultivars during simulated exportation.

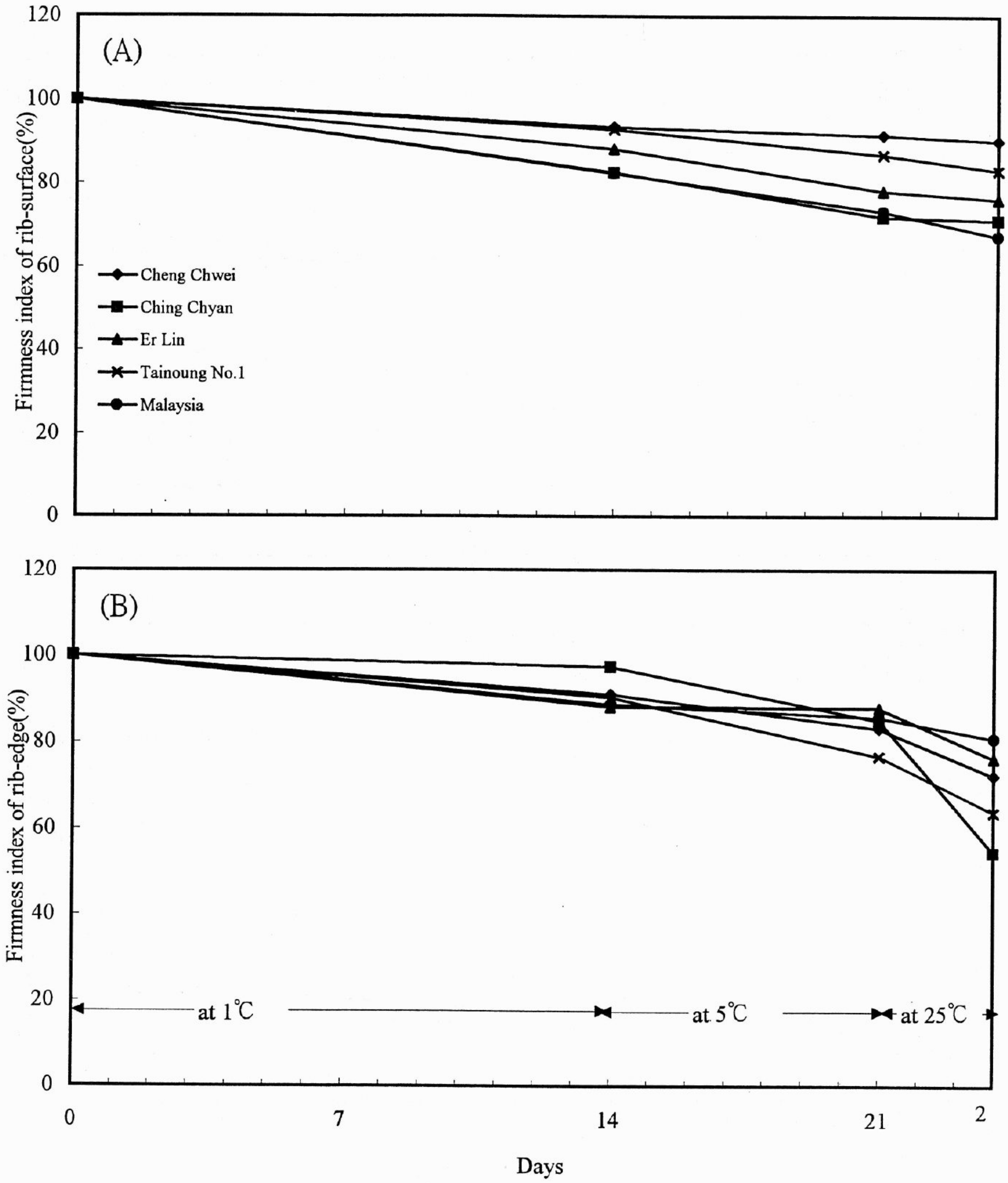

圖 4. 五種楊桃果實在模擬外銷貯運期間稔面 (A) 及稔緣 (B) 之硬度指數變化

Fig. 4. Changes of firmness index of rib-surface (A) and rib-edge (B) of five different carambola cultivars during simulated exportation.

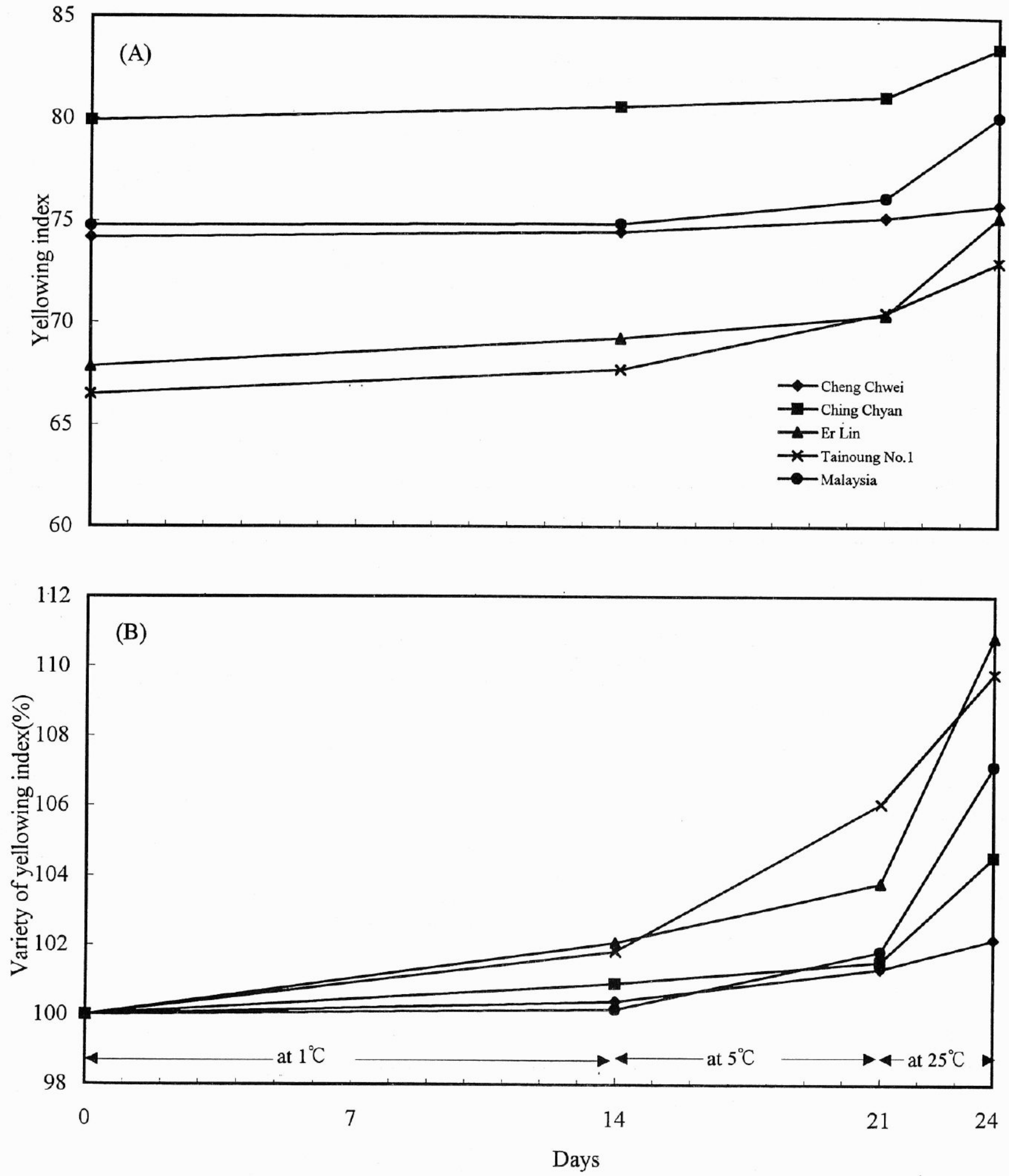

圖 5. 五種楊桃果實在模擬外銷貯運期間黃化指數(A)及其變化(B)情形

Fig. 5. Changes of yellowing index (A) and its variety (B) of five different carambola cultivars during simulated exportation.

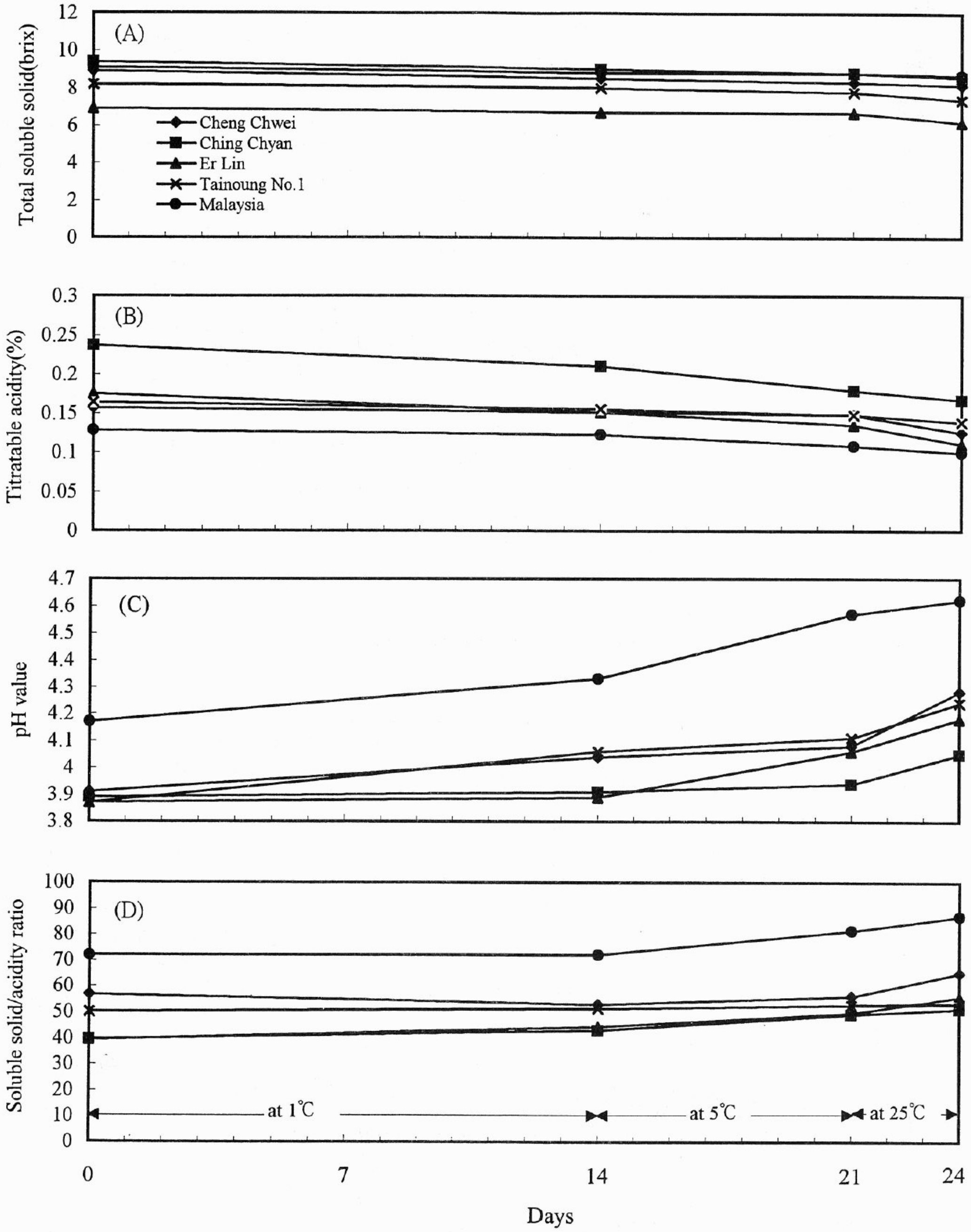

圖 6. 五種楊桃果實在模擬外銷貯運期間可溶性固形物（A）、可滴定酸度（B）、pH值（C）及糖酸比（D）之變化情形

Fig. 6. Changes in total soluble solid (A), titratable acidity(B), pH value (C) and soluble solid to acidity ratio (D) of five different carambola cultivars during simulated exportation.

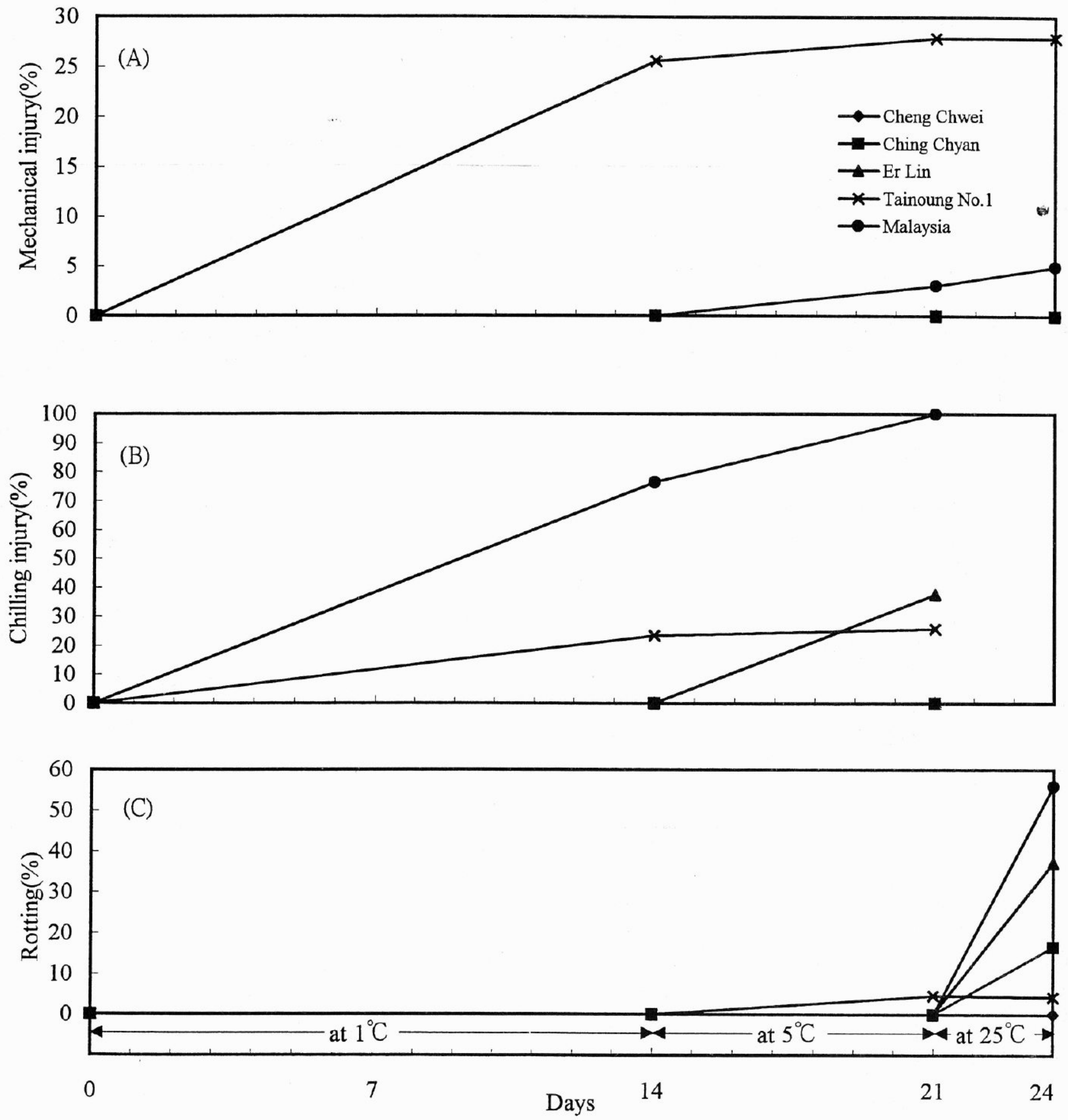

圖 7. 五種楊桃果實雜模擬外銷銷貯運期間之機械傷害(A)、寒害(B)及腐爛率(C)之變化情形

Fig. 7. Changes of the percentage of machinery injury (A), chilling injury (B) and rotting (C) of five different carambola cultivars during simulated exportation.

。楊桃果實在低溫下會發生寒害，與其成熟度、處理及品種等有關[23]，Wan 和 Lam[25]指出楊桃若發生寒害會使果皮著色，楊桃之寒害徵狀包括褐斑、暗稔（darkened rib）、皺縮及移入高溫後之轉色不良[23]，秤錘種及青嵌種於低溫貯運下未觀察到寒害或寒害極輕微（圖 7），但是其他三品種則均有或嚴重，其中尤其以馬來西亞種之將近100%爲最高，其寒害徵狀爲典型之針孔狀（pinhole-like）密佈全粒果實，故此品種應無法承受外銷低溫檢疫的手續。在低溫下各品種均有極低之腐爛率（圖 7），這項結果顯示低溫對降低楊桃在貯運中之腐爛率有正面的幫助，秤錘種在試驗終了時甚至有接近零之腐爛率，其餘各品種則在移入高溫後均會發生腐爛，楊桃臺農一號發生在低溫下之腐爛，主要應是來自擦壓傷較高之緣故，研究發現腐爛率最高者爲馬來西亞種之56.0%，可能是因爲果實在採收之後逐漸衰老及在低溫下業已發生嚴重的寒害，造成對微生物或病害抵抗力之衰弱，故當移入高溫下時，遂發生高比率之腐爛。另外，Campbell 等[17]也觀察到原因不明而發生在不同年份、不定比率之果稔轉暗及崩潰，此種情形類似二林種在冬季時有類似寒害之褐斑（scar）發生，此現象之發生是否與寒冷的冬季季風或缺乏某些元素等有關，值得進一步探討，如欲以此品種作低溫貯運時，應注意這方面的問題。商品可售率直接影響到售價、成本及商品銷售（marketing），本試驗終了時發現秤錘種之可售率最高約爲100%（圖 8）青嵌種次之爲83.3%，二林種與楊桃臺農一號再次之均約爲63.0%左右，馬來西亞種之44.0%最低。

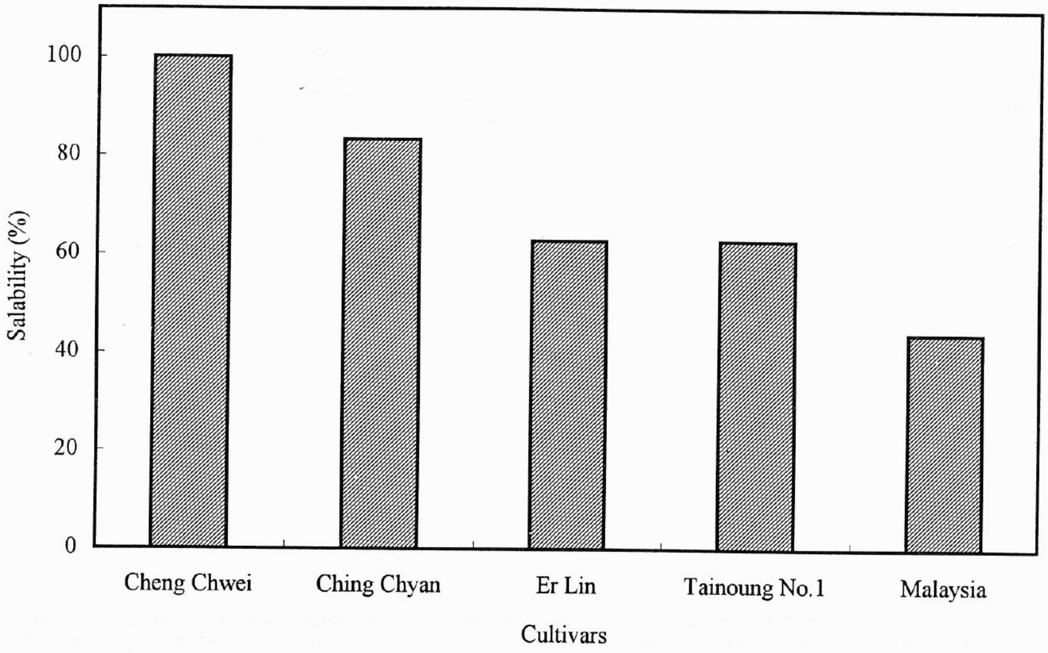

圖 8. 五種楊桃果實在模擬外銷貯運後之可售率

Fig. 8. Salability of five different carambola cultivars after the simulated exportation.

七、官能品評

模擬貯運開始前，發現二林種及馬來西亞種之接受程度均列入第一等級，其他三品種則居次（表1），但在模擬貯運終了後則顯現了品種間的差異性，以秤錘種及青埔種爲第一等級，二林種及楊桃臺農一號次之，馬來西亞種再次之，究其原因應爲秤錘種及青埔種較耐貯運、少機械傷害與幾無寒害，二林種及楊桃臺農一號有略高之寒害或較高之機械傷害，造成官能品評時之得分降低，馬來西亞種則由於其寒害嚴重，造成腐爛率偏高，而本身硬度低下亦使組織較軟化，加以貯運後糖酸比值過高，失去楊桃應略帶酸味之消費習慣，故在貯運後之官能品評上居末，以圖9表示時可發現秤錘種及青埔種貯運前後所佔區域面積變動不大，可見此二品種楊桃貯運前後之整體體評估亦不相上下，而二林種、楊桃臺農一號及馬來西亞種貯運後較貯運前所佔區域面積明顯縮小，故貯運後之整體評估較差。

表 1. 五種楊桃果實在模擬外銷貯運前後之官能品評

Table 1. Sensory evaluation of five different carambola cultivars before and after simulated exportation.

Cultivars	Items investigated					
	Surface	Color	Flavor	Texture	Overall quality	Level[z]
Cheng Chwei	7[y,w]	7	7	8	7.25	2
	(7)[x,w]	(7)	(7)	(7)	(7.00)	(1)
Ching Chyan	7	7	8	7	7.25	2
	(7)	(8)	(8)	(6)	(7.25)	(1)
Er Lin	7	7	8	8	7.50	1
	(6)	(6)	(7)	(7)	(6.50)	(2)
Tainoung No.1	7	7	7	8	7.25	2
	(6)	(5)	(7)	(7)	(6.25)	(2)
Malaysia	8	8	7	7	7.50	1
	(6)	(6)	(6)	(5)	(5.75)	(3)

[z] In level column, the sign 1was the best grade, the sign 2 was the second and the sign 3 was the third grade.
[y] Means in each column were data before simulated exportation.
[x] Means in each parenthesis were data after simulated exportation.
[w] 9 represented very like,1 represented very dislike and 5 represented not like or not hate.

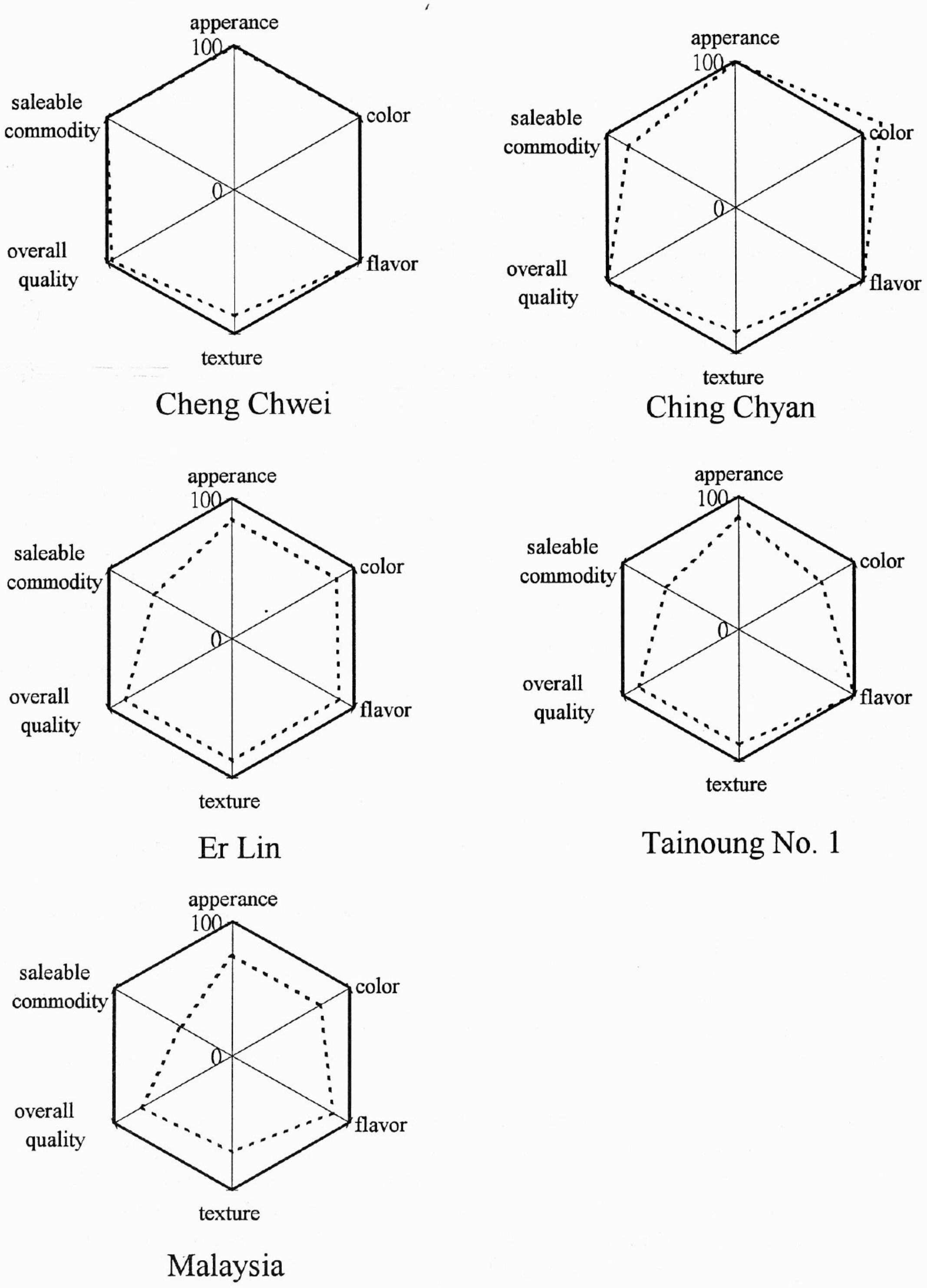

圖 9. 五種楊桃果實模擬外銷貯運前後官能品評之比較

Fig. 9. Comparison of sensory evaluation of five different carambola cultivars before (—) and after (···) simulated exportation.

誌　謝

本研究承蒙行政院農業委員會補助經費（計畫編號：85科技-1.4-糧-41），謹申謝忱。

引用文獻

1. 王武彰。1978。本省優良楊桃品種與整枝方法。臺灣農業10：71—73。
2. 武武彰。1979。楊桃。經濟果樹（上）。125—132頁。豐年叢書 HV NO.783。臺北。
3. 王武彰。1991。楊桃「臺農一號」之育成。中華農業研究40：396—406。
4. 中華民國海關進出口貿易資料。1996。451頁。中華民國海關編印。
5. 林德勝、謝慶昌。1995。楊桃之採收後處理。農藥世界144：16—17。
6. 黃碧海。1995。楊桃栽培現況和未來展望。農藥世界144：8—12。
7. 臺灣農業年報。1995。果品（14）橄欖、楊桃。130—131頁。臺灣省政府農林廳編印。
8. 錢明賽。1979。如何減少農作物收穫後的損失。食品工業11：19—24。
9. Brown, B.I. and Wong, L.S., 1984. Report on postharvest physiological studies of rambutan, carambola and s sposilla (1985) .Queensl. Dep. Primary Ind., Dep. Note HPG/A325 (unpubl.),24pp.
10. Brown, B.I. and Wong, L.S., 1985. Report on postharvest physiological studies of rambutan, carambola and sapodilla 〔1985). Queensl. Dep. Primary Ind., Dep. Note HPG/A324(unpubl.), 22pp.
11. Brown, B.I., Wong, L.S. and Watson, B.J., 1985. Use of plastic film packaging and low temperature storage for postharvest handling of armbutan, carambola and sapolilla. Proc. Postharv. Hort. Workshop, Melbourne, pp. 272—286.
12. Campbell, C.A., 1987. Carambola fruit development and storage in Florida. MS Thesis, Univ. of Florida, Gainsville.
13. Campbell, C.A., 1989. Storage and handling of Florida carambola. First Int. Carambolla Workshop, 2-4 September 1989, at Georgetown, Guyana. Proc. Intern. Soc. Trop. Hort., 33：79-82
14. Campbell, C.A. and Koch, K.E., 1989. Sugar/acid composition and development of sweet and tart carambola fruit. J. Am. Soc. Hort. Sci., 114：455-457.
15. Campbell, C.A., Huber, D. J. andkoch, K.E., 1987. Postharvest response of carambolas to storage at low temperatures. Proc. Fla State Hort. Soc., 100：272-275.
16. Campbell, C.A., Huber, D.J. andkoch, K.E., 1989. Postharvest changes in sugars, acids, and colour of carambola fruit at various HortScience, 24：472-475.
17. Campbell, C.W., Knight, R.J., Jr. and Olszack, r., 1985. Carambola production in Florida Proc. Fla. State Hort. Soc., 98：145-149.
18. Federal register. USDA. 1995. Animal and plant health inspection service. 60：14203.
19. Grierson, W. and Vines, H. M., 1965. Carambolas for potential use in gift fruit shipments. Proc. Fla. State Hort. Soc., 78：349-353
20. Knight, R.J., Jr., 1989. Carambola cultivars and improvement programs. First Int. Carambola Workshop, 2-4 September 1989, at Georgetown, Guyana. proc. Interam. Soc. Trop. Hort., 33：72-78.
21. Kwek, S.P., and Ghazali, H.M., 1986. Pologalacturonase activity during ripening of starfruit (*Averrhoa carambola* L.). In：S. Mohamed, M.N. Azudin and M.I.A. Karim(Editors) , Seminar on Advance in Food Research in Malaysia, 6-7 May 1986. at University Pertainian Malaysia, Sesdang, Selangor, Malysia, pp.139-148.
22. Lam, P.F. and Wan, C.K., 1987. Ethylene and carbon dioxide production of starfruits (*Averrhoa carambola* L.) stored at various temperatures and in different gas and relative humidity atmosphere. Trop. Agric. (Trini dad), 64：181-184.

23. O'Hare, T.J. 1993. Postharvest physiology and storage of carambola (starfruit) : a review. Postharvest Biol. Technol., 2 : 257-267.

24. Oslund, C.R. and Davenport, T.L., 1983. Ethylene and carbon dioxide in ripening fruit of Averrhoa carambola. HortScience, 18 : 229-230.

25. Wan, C.K. and Lam, P.F., 1984. Biochemical changes, use of polyethylene bags, and chilling injury of carambola (*Averrhoa carambola* L.) stored at various temperatures. Pertanika, 7 : 39-46.

26. Waston, B.J., George, A.P., Nissen, R. J. and Kimbrouge, K.W., 1975. Index of plant diseases in Floride. Fla Dep. Agric. Consumer Serv. Bull., 11 : 211.

27. Wilson, C.W., Shaw, P.E. and Knight, R.J., Jr, 1982. Analysis of oxalic acid in carambola (*Averrhoa carambola* L.) and spinach by high performance liquid chromato graphy. J. Agri. Food Chem., 30 : 1106-1108.

Studies on Export Suitability of Different Carambola Cultivars[1]

Tzu-Ching Wang[2], Ching-Chang Shiesh[3] and Der-Soon Lin[4]

Summary

The purposes of these studies were to investigate the changes of fruit qualities of five carambola cultivars during simulated export storage procedure and to estimate the export suitability and potentiality. The results showed that the sugar content, titratable acidity and firmness of the five tested cultivars declined during simulated exportation. However, the pH value of each cultivars incressed. All the five cultivars showed different degrees of yellowing but the weight loss decreased less than 2%. It was suggested that "Cheng Chwei" and "Ching Chyan" were the most suitable for exportation than other cultivars because of their better qualities and higher salability (Cheng Chwei nearly 100% and Ching Chyan above 83%) after simulated exportation. "Er Lin" was second one suitable for exportation. "Tainoung No.1" and "Malaysia" were not suitable for exportation due to high mechanical injury (30%) and chilling injury (100%) after simulated exportation.

Key words : Carambola, Export, Quarantine.

---

1. Contribution No. 1911 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Assistant of Fengshan Tropical Horticultural Experiment Station, TARI, Fengshan, Kaohsiung, Taiwan, ROC.
3. Associate Professor, Department of Agribusiness, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. ROC.
4. Specialist, Taiwan Provincial Fruit Marketing Cooperative. Taipei, Taiwan. ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(3)：294～304（1997）

梅子大小分級機構之設計分析[1]

楊智凱[2]　劉昆揚[3]

摘要：設計一間距變化式分級機構，由輥子鏈、分級板、導板所組成。分級板上端連結於輥子鏈上並隨之移動，下端則靠在導板上滑行。由於導板的傾斜角使分級板之間的間隙隨著輥子鏈移動而增加，應用此分級原理，果實進入分級機構後隨著分級板向前移動，大小不同的果實分別在適當位置通過間隙落於各級收集盒中，完成分級作業。

自南投水里鄉取樣調查梅子粒徑分佈，結果平均短橫徑26.79mm，長橫徑28.73mm，縱徑30.12mm，重13.39g；依據以上資料決定分級機構參數，完成梅子大小分級機構雛型機。經試驗後，以短橫徑與重量的關係式推算求得分級指標如後：分兩級時，分級效率為88％，分級純度88％；分三級時，分級效率約為74％，分級純度76％。

關鍵詞：分級、梅子。

前　言

梅樹的分佈多集中在中部中央山脈西側海拔300～1,000公尺的坡地上，每年三月中旬梅子七分熟時為採收期，大部分用作加工後食用（如青梅漬、梅酒、梅干……）(1)。梅子由於枝幹上多刺，攀爬不易；以及果實和樹葉顏色相近，辨視不易；因此以人工採收每人每工作天僅可收穫約100kg 梅子。而近年人工昂貴，手採方式僅佔極少部份。大部份作業方式乃先在樹下覆以帆布，再以竹竿敲擊，使梅子掉落在帆布上，保持果實清潔，且易於收集拾取。這種方式所用人工雖較手採為少，但依然費時費工。

劉於1984年研發成功索引式振動採收機(2)(3)，平均10分鐘可採收一株梅樹（40kg 梅子），大幅減低收穫所須時間及人力，降低成本。但收穫後的大量果實若無一貫連續的後處理（收集、選別、分級……等），其效果也會大打折扣。在選別分級作業方面，為了配合機械化採收，開始研究開發作業能量高，適合臺灣坡地作業的果實分級機。

在田間收穫後的果實，除了混有雜枝、樹葉外，由於成長狀況不同，大小外形有差異。為了提高農產品價值及利於加工處理，選別和分級是必須的過程。最好能在田間收穫完後立即加以選別分級，把雜枝、樹葉甚至過小的果實篩除，留在田間。其餘符合要求的果實依其大小分級，以期獲得最大利益。

現行機械式大小分級機主要分為變化間距式與固定孔洞式兩大類。前者分級原理為分級裝置的孔隙在分級過程中變化，農產品在適當孔隙位置落入分級盒，達到分級目的。後者孔隙固定，物料經篩選後粒徑較大者留在篩面上，粒徑較小者掉落，完成分級作業。本研究乃應用劉昆揚先生研發之板式

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1912 號。
2. 本所農工系助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 國立臺灣大學農機系副教授。臺北市。

大小分級原理，推導其分級機構之理論模式；同時調查統計梅子物理性質，建立粒徑分佈基本資料。針對加工用梅子分級作業，設計製作分級雛型機並進行初步試驗，探討此分級機構之可行性。

理論推導

目前大部分的果實大小分級裝置多屬篩網式或輥筒式，果實在分級機構上運動，摩擦與衝擊難以避免。若採靜置式的分級方式，使果實於分級作業中與分級機構之間的相對運動降到最低，將可減少損傷。爲達此一目的，分級機構除了具有分級的功能外，同時必須擔負一部分運輸果實的工作，於是產生設計本大小分級機構的構想，其原理如下所述。

一、原理簡介

首先，本機構主要由輥子鏈（Roller Chain）、分級板（Sizing Plate）、導板（Guide Plate）等三部分所組成。（如圖１）

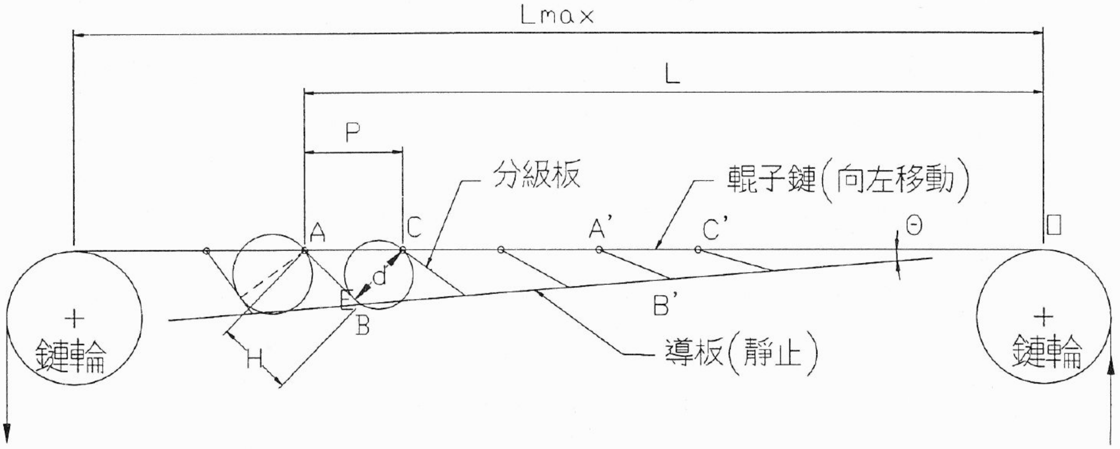

圖 1.　大小分級機分級原理圖

Fig. 1.　Theoretical diagram of Sizing Mechanism.

爲了能清楚介紹本分級原理，先假設分級板的厚度爲零。動力由鏈輪傳入帶動鏈條（輥子鏈），鏈條在銷孔位置（A點）以迴轉對（Revolute Pair）之方式和分級板 $\overline{AB}$ 連接；換句話說，在鏈條運動過程，分級板以A爲中心作迴旋擺動。導板固定於鏈條及分級板的下方，與鏈條行進方向成某一角度的傾斜，使分級板 $\overline{AB}$ 隨鏈條由右至左移動過程中，以B點在導板上滑行，導致 $\overline{AB}$ 擺動，使分級板之間的垂直間隙 d 由小變大，我們就利用此一間隙的變化來達到分級功能。

接下來推導其間的幾何關係：

P：分級板與鏈條之連接點間距（$\overline{AC}$）。

H：分級板高（$\overline{AB}$）。

d：分級板之間允許果實通過的間隙（The Opening）。

θ：導板與鏈條間的角度。

L：$\overline{AO}$ 長。

△ACE中　$d = P \times \sin(\alpha)$，$\alpha = \angle CAE$

△ABO中　$\dfrac{L}{\sin(\pi-\theta-\alpha)} = \dfrac{H}{\sin(\theta)}$

故 $d=P\times\sin\ (\sin^{-1}\ [\frac{L}{H}\times\sin\ (\theta)]\ -\theta)$ ......(1)

但當 $\overline{AB}<\overline{AE}$ 時，果實即會落下（例如在 $A'B'C'$ 位置時），此時允許果實落下的間隙(d)爲 $\overline{CB}$，即

$d=\sqrt{\overline{AB}^2+\overline{AC}^2-2\times\overline{AB}\times\overline{AC}\times\cos\ (\alpha)}$ ......(2)

取 $\overline{AC}$=P=50.8mm，$\overline{AB}$=H=40mm，θ作1°、2°、3°的變化，代入(1)(2)兩式作圖 2 。

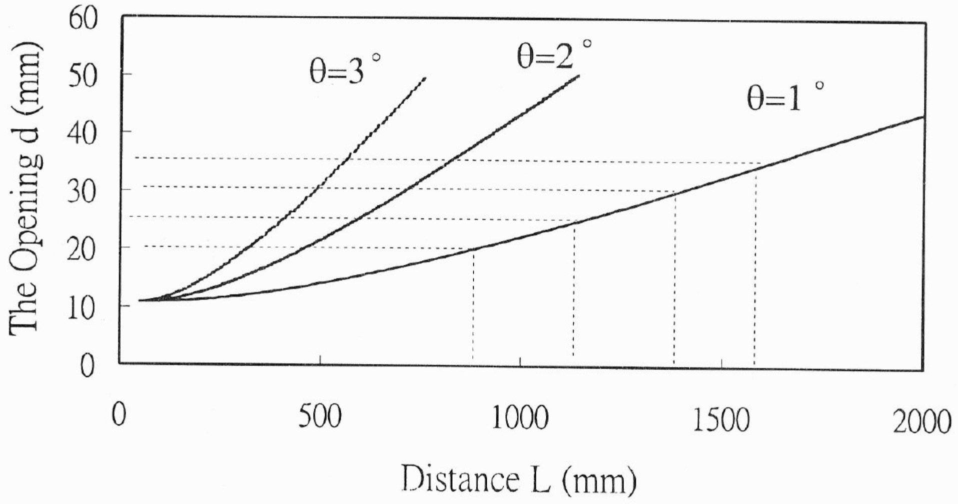

圖 2. 分級板間隙 d 與輥子鏈移動距離 L 之關係（原理）

Fig. 2. Relation of the Opening (d) and Displace (L) (theoretical)

圖 2 顯示不同傾斜角（θ）時，d 與 L 的關係。以θ=1°爲例，欲將果實分爲下列三級：第三級：20～25mm、第二級：25～30mm、第一級：30～35mm，可由圖 2 找到可利用來作爲分級的 L 範圍，約自875mm 至1,600mm，其中第三級：L =875～1,150mm、第二級：L =1,150～1,400mm、第一級：L =1,400～1,600mm。

也就是說，一批待分級的果實由右側進入分級機構落在分級板上，由鏈條帶著果實一起向左側移去，由於第三級的果實在 L 爲875mm 至1,150mm 之間時，果實外徑會比分級板的間隙還小，於是屬於第三級的果實便在此 L 區間內落入分級盒。剩下較大的果實仍然停留在分級板上和分級板及鏈條一起前途，待鏈條行進至1,150～1,400mm 時，同理第二級果實落入第二級分級盒。最後，第一級果實便在 L 爲1,400至1,600mm 的範圍落入第一級分級盒。

二、理論推導

由以上原理簡介可以初見此間距變化分級方式的可行性，但實際應用上尙須考慮分級板的厚度及分級板形狀。基於製造以及加工上的考慮，設計分級板如圖 3 左，由折彎的鐵板及圓管焊接而成，所以分級過程中實際的幾何關係應如圖 3 所示。

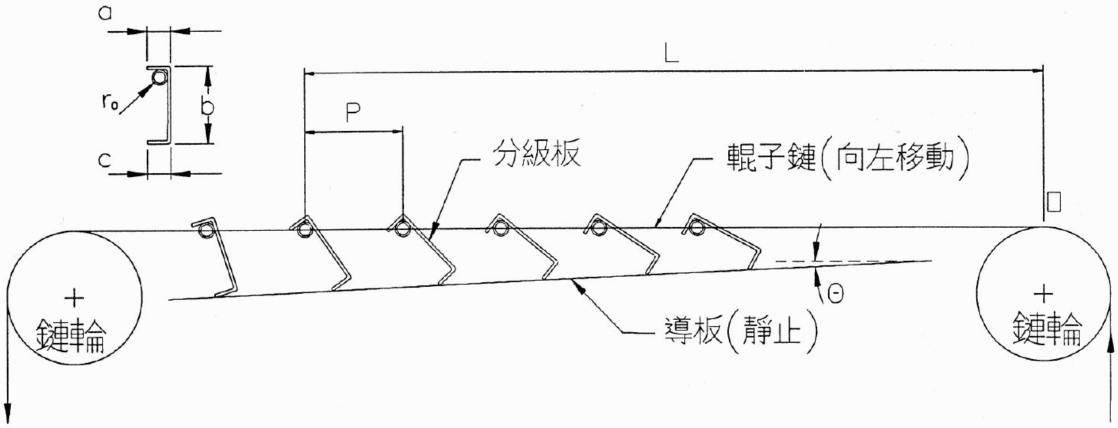

圖 3. 大小分級機分級機構圖(一)
Fig. 3. Mechanism diagram of Sizing Mechanism (I).

故先前的分級原理公式須依據眞實分級機構加以修正。修正後分級板之間允許果實通過的間隙（the Opening） d爲（如圖 4 左）：

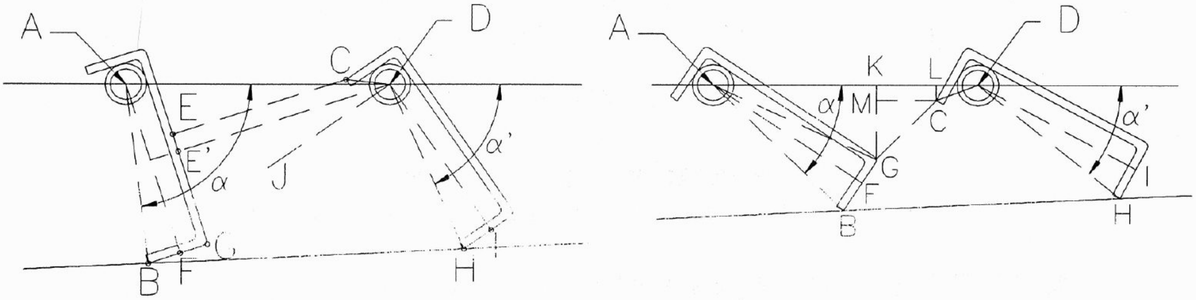

圖 4. 大小分級機分級機構圖(二)
Fig. 4. Mechanism diagram of Sizing Mechanism (II).

$$d=\overline{CE}=\overline{AD}\times\sin\ (\angle DAF)\ -\overline{FG}-\overline{CD}\times\cos\ (\angle CDJ-\alpha+\alpha') \quad \cdots\cdots(3)$$

其中$\alpha=\sin^{-1}\left[\frac{L}{AB}\times\sin(\theta)\right]-\theta$，$\alpha'=\sin^{-1}\left[\frac{L-P}{AB}\times\sin(\theta)\right]-\theta$，$\angle DAF=\alpha-\angle BAF$，

但當如圖 4 右時，果實會以通過 $\overline{CG}$ 的路徑落入分級盒，幾何關係如下：

$$\overline{CG}=\sqrt{\overline{MG}^2+\overline{MC}^2} \quad \cdots\cdots(4)$$

綜合(3)(4)兩式，以$\theta=0.5°$爲例，a = c =12；b =40；r_0=8；P =50.8代入，作圖 5 。

若要將果實分成20～24mm、24～28mm、28～32mm 等三級，可利用圖 5 找到可利用來作爲分級的L範圍，約自3,100mm 至3820mm，其中第三級：L =3,100～3,350mm、第二級：L =3,350～3,610mm、第一級：L =3,610～3,820mm。

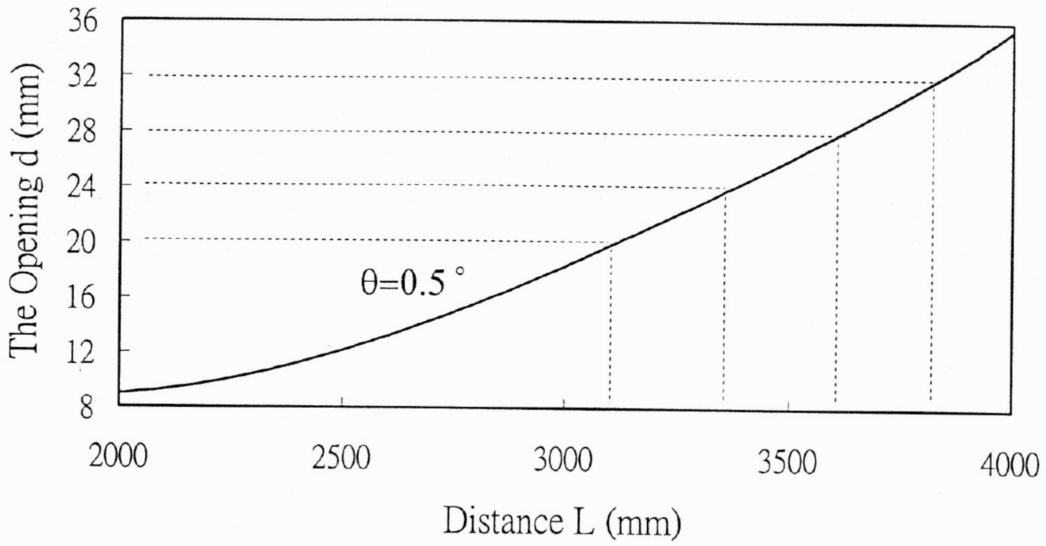

圖 5. 分級板間隙 d 與輥子鏈移動距離 L 之關係（實際）

Fig. 5. Relation of the Opening (d) and Displace (L) (practical)

同理，一批待分級的果實由右側進入分級機構落在分級板上，由鏈條帶著果實一起向左側移去，果徑20～24mm 的果實在 L 爲3,100mm 至3,350mm 之間落入第三級分級盒。剩下較大的果實仍然停留在分級板上和分級板及鏈條一起前進，待鏈條行進至 3,350～3,610mm 時，果徑 24～28mm 的果實落入第二級分級盒。最後，第一級果實便在 3,610 至 3,820mm 的範圍落入第一級分級盒。

材料與方法

一、梅子物性調查

梅子的形狀大致呈編橢圓球形[4]，靠近蒂頭部分較爲飽滿，且有一淺溝由蒂頭端延伸至另一端。其主要尺寸有短橫徑（D_1）、長橫徑（D_2）、縱徑（D_3）。自南投縣水里鄉取得梅子40kg，隨機取樣200個量測短橫徑、長橫徑、縱徑及重量，記錄如表 1。

表 1. 梅子粒徑及重量統計表

Table 1. Investigation in dimension and weight of plum.

	Short-diameter D_1 (mm)	Long-diameter D_2 (mm)	Length D_3 (mm)	Weight W (g)
Mean	26.79	28.73	30.12	13.39
Std. Dev.	2.02	2.19	2.15	2.92
Minimum	20.6	21.8	23.9	6.4
Maximum	34.7	36.7	37.9	27.3

爲簡化實驗時數據記錄，將短橫徑與重量作線性迴歸，結果如式(5)。但其殘差分析時，粒徑較小及較大範圍的殘差皆偏向正值，因此改爲二次多項式迴歸分析，結果如式(6)。

$W = 1.9991D_1 - 24.0923$， $R\text{-}sq = 0.9333$ ……(5)

$W = 0.0428D_1^2 - 0.93818D_1 + 7.62998$， $R\text{-}sq = 0.949$ ……(6)

二、分級機之研製

爲實現本分級機構之分級試驗，須配合進料部與出料部之設計製造。雛型機長2.4m×寬0.55m×高1.1m，機體包括(一)進料部(二)分級部(三)出料部。如圖 6 ，待分級之梅子倒入承斗（容量60公升，約可承裝 25kg 梅子）內，由承斗下方開口（350mm×200mm）以滑動擋板控制梅子流量，經圓桿輸

圖 6. 梅子大小分級機

Fig. 6. Plum sizing machine.

送裝置（傾斜約15度）落於分級板上，輸送動力由馬達（1/8hp、4poles、附減速機構、最終轉速55 rpm）帶動鏈輪傳動兩組平行輥子鏈（40號，節距12.7mm，長3,251.1mm）。分級板由外徑 8mm、長520mm 的圓管與兩端折彎的 1.6mm 鐵板焊接而成，高度40mm、面寬520mm，藉圓鐵桿穿過分級板圓管，兩端再穿過輥子鏈外板圓孔，以卡簧將64片分級板固定於兩組輥子鏈之間。作業時，分級板間隙隨著鏈條移動漸漸打開，各級梅子便在適當位置經由出料部的各級導槽，落入分級箱。爲方便分級試驗導板的調整，製作指針與指標尺以作爲導板斜率及高度調整的指標。

三、分級試驗

(一)分級參數方程式

果實經過分級機構時，可能以任何狀態通過分級板間隙，並非一定以短橫徑、長橫徑或縱徑爲通過分級板，而是視進入分級機構時果實的姿態。將實際通過分級板間隙的果徑稱之等效徑，其大小一定介於縱徑與橫徑之間。分級參數方程式（Sizing Parameter Function）定義出等效徑與縱徑及橫徑之間的關係如下：

$P=\alpha L+\beta D$ ：P（等效徑）、L（縱徑）、D（橫徑）、$\alpha+\beta=1$

分級參數方程式所代表的意義是：眞正通過分級孔隙的等效徑是縱徑與橫徑的組合（Peleg, 1985）[5]。一般皮帶式與滾筒式分級機（變化間距分級方式）的分級參數方程式爲

$$P=0.17L+0.83D \quad \cdots\cdots(7)$$

而一般孔隙式分級機則是

$$P=0.25L+0.75D \quad \cdots\cdots(8)$$

本分級原理爲變化間距分級方式，在計算等效徑時，採用公式(7)，將先前梅子物性調查結果的短橫徑與長橫徑之平均代入D，得到另一組等效徑P資料，將D_1與P作線性迴歸得到式(9)。

$$P=0.9916D1+1.5939,\quad R\text{-}sq=0.9559 \quad \cdots\cdots(9)$$

(二)分級指標

加權方程式（Weighting function）

$W_i=K_iP_i/\Sigma K_iP_i$ K_i：第 i 級相對加值分量，P_i：原料中第 i 級佔總重量百分率 ……(10)

加權分級雜度（Contamination Index）

$$C_W=(C_{1,2}+C_{1,3}+\cdots+C_{1,l})W_1+(C_{2,1}+C_{2,3}+\cdots+C_{2,l})W_2+\cdots\cdots+(C_{l,1}+C_{l,2}+\cdots+C_{l,l-1})+W_l \quad \cdots\cdots(11)$$

其中 $C_{i,j}$（$i\neq j$）表示分級後第 i 級分級盒中含有第 j 級的重量百分率。

加權分級純度（Purity Index）

$$P_W=P_{g1}W_1+P_{g2}W_2+\cdots+P_{gl}W_l=\Sigma P_{gi}W_i \quad \cdots\cdots(12)$$

其中 P_{gi} 表示分級後第 i 級分級盒中含有第 i 級的重量百分率。

加權分級誤差（Weighted Sorting Error）

$S_W=\Sigma\left(\frac{QP_i-P_{gi}G_i}{QP_i}\right)W_i$，$G_i$：分級後第 i 級重量（單位時間），

Q：分級總重量（單位時間） ……(13)

加權分級效率（Weighted Sorting Efficiency）

$$E_W=\Sigma\left(\frac{P_{gi}G_i}{QP_i}\right)W_i \quad \cdots\cdots(14)$$

以上各指標皆滿足 $P_W+C_W=1$，$S_W+E_W=1$。

(三)分級試驗

爲了驗證本分級機構的可行性，以實際分級結果代入分級指標評估之。考慮調整導板斜率及高度的方便性和先前梅子粒徑分佈，設計 ABC 三型分級範圍作爲分級試驗依據(如表 2)。

表 2. ABC 三型分級試驗分級範圍

Table 2. Grade range of sizing test A,B,C.

	Grade1	Grade2	Grade3
Test A	>28.41mm	24.3 mm～28.41mm	<24.30mm
Test B	>26.3 mm	20.05mm～26.3 mm	<20.05mm
Test C	>27.35mm	25.09～27.35mm	<25.09mm

利用指針及指標尺調整導板高度及斜率，使分級範圍符合A分級試驗。將重約5公斤的梅子倒入承斗內，以擋板控制進入分級部流量，進行分級作業。完畢後各級取樣50粒記錄短橫徑、樣本重及總重。重新調整導板高度及斜率，以同一批試料進行B、C分級試驗。更換下一批梅子重複A、B、C分級試驗。試驗流程如圖7。

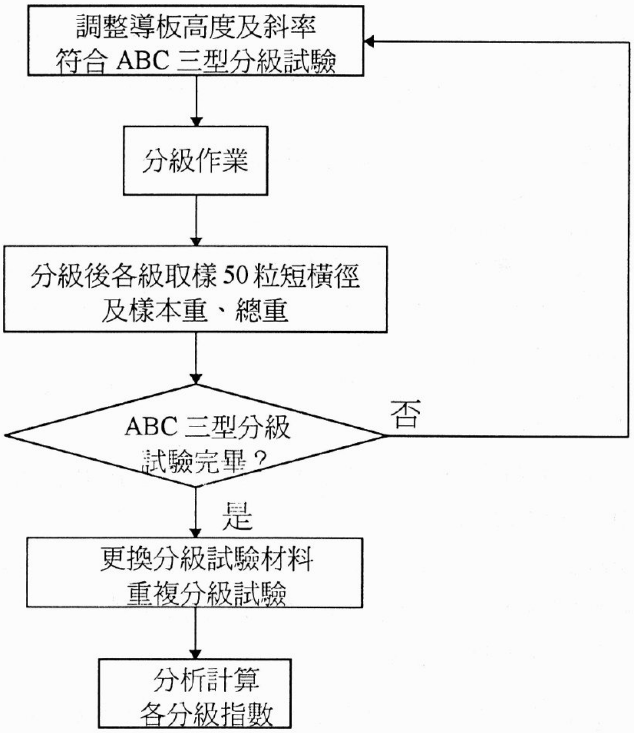

圖 7. 分級試驗流程圖

Fig. 7. Flow chart of Sizing test.

結果與討論

爲簡化分級試驗中數據的量測，利用(9)及(6)式的高相關性，僅量測梅子的短橫徑代入(9)式及(6)式，推算出分級參數方程式中的等效徑及重量，配合量測50粒梅子樣本重、各級總重。依此計算各試驗的分級雜度與分級純度，結果如表3～表5。

表3代表A型分級範圍的試驗結果，大於28.41mm爲第一級、24.3至28.41mm 爲第二級、小於24.3mm 爲第三級。重複三次分級試驗後，皆可明顯分出三個等級，其中又以第二級的純度（正確率）最高。表4代表B型分級範圍的試驗結果，大於 26.3mm 爲第一級、20.05 至 26.3mm 爲第二級、小於 20.05mm 爲第三級。重複三次分級試驗後，第三級出口皆無排料，將此分級範圍視爲二級作業，而一二級的純度皆可達80%以上。表5代表C型分級範圍的試驗結果，大於 27.35mm 爲第一級、25.09 至 27.35mm 爲第二級、小於 25.09mm 爲第三級。重複三次分級試驗後，皆可明顯分出三個等級，其中又以第一級的純度最高。若價格以第一級最高（式(10)中，$K_1>K_2>K_3$），則C型分級範圍的分級結果能較高純度的第一級梅子取得較高單位售價，獲得最大收益。

表 3. A型分級範圍之分級結果

Table 3. Contaminant and pure product fractions of grades for test A.

	Grade 1 $P_1=54.55\%$	Grade 2 $P_2=43.52\%$	Grade 3 $P_3=1.93\%$
Trial 1	$P_{g1}=72\%$	$C_{2,1}=10.2\%$	$C_{3,1}=0.0\%$
	$C_{1,2}=27\%$	$P_{g2}=88.5\%$	$C_{3,2}=36.7\%$
	$C_{1,3}=1.0\%$	$C_{2,3}=1.3\%$	$P_{g3}=63.3\%$
Trial 2	$P_{g1}=54.3\%$	$C_{2,1}=10.3\%$	$C_{3,1}=0.0\%$
	$C_{1,2}=45.7\%$	$P_{g2}=86.8\%$	$C_{3,2}=30.8\%$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=2.9\%$	$P_{g3}=69.2\%$
Trial 3	$P_{g1}=69.1\%$	$C_{2,1}=10.0\%$	$C_{3,1}=0.0\%$
	$C_{1,2}=30.9\%$	$P_{g2}=86.5\%$	$C_{3,2}=25.7\%$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=3.6\%$	$P_{g3}=74.3\%$

P_i : Fraction of grade i sampled in raw material.
$C_{i,j}$: Contaminant product fractions of grade j sampled in outflow of grade i ($i\neq j$).
P_{gi} : Pure product fractions of grade i sampled in outfllow grade i.

表 4. B型分級範圍之分級結果

Table 4. Contaminant and pure product fractions of grades for test B.

	Grade 1 $P_1=88.94\%$	Grade 2 $P_2=11.06\%$	Grade 3 $P_3=0.0\%$
Trial 1	$P_{g1}=85.9\%$	$C_{2,1}=5.1\%$	$C_{3,1}=-$
	$C_{1,2}=14.1\%$	$P_{g2}=94.9\%$	$C_{3,2}=-$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=0.0\%$	$P_{g3}=-$
Trial 2	$P_{g1}=93.9\%$	$C_{2,1}=13.3\%$	$C_{3,1}=-$
	$C_{1,2}=6.1\%$	$P_{g2}=86.7\%$	$C_{3,2}=-$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=0.0\%$	$P_{g3}=-$
Trial 3	$P_{g1}=84.8\%$	$C_{2,1}=21.0\%$	$C_{3,1}=-$
	$C_{1,2}=15.2\%$	$P_{g2}=79.0\%$	$C_{3,2}=-$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=0.0\%$	$P_{g3}=-$

表 5. C型分級範圍之分級結果

Table 5. Contaminant and pure product fractions of grades for test C.

	Grade 1 $P_1=73.30\%$	Grade 2 $P_2=23.73\%$	Grade 3 $P_3=2.96\%$
Trial 1	$P_{g1}=90.3\%$	$C_{2,1}=34.5\%$	$C_{3,1}=2.8\%$
	$C_{1,2}=9.7\%$	$P_{g2}=60.9\%$	$C_{3,2}=44.9\%$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=4.6\%$	$P_{g3}=52.3\%$
Trial 2	$P_{g1}=87.9\%$	$C_{2,1}=36.1\%$	$C_{3,1}=2.8\%$
	$C_{1,2}=11.1\%$	$P_{g2}=56.1\%$	$C_{3,2}=37.6\%$
	$C_{1,3}=1.0\%$	$C_{2,3}=7.7\%$	$P_{g3}=59.6\%$
Trial 3	$P_{g1}=75.0\%$	$C_{2,1}=26.4\%$	$C_{3,1}=0.0\%$
	$C_{1,2}=25.0\%$	$P_{g2}=56.1\%$	$C_{3,2}=45.7\%$
	$C_{1,3}=0.0\%$	$C_{2,3}=17.6\%$	$P_{g3}=54.3\%$

若假設各各級價格一樣（式(10)中，$K_1=K_2=K_3$），將三次試驗結果依式(12)與式(14)，求得分級純度與分級效率，整理如表 6 。平均而言，分三級時（A、C型試驗），平均分級純度爲76%、分級效率爲74%；分兩級時（B型試驗），分級純度爲88%、分級效率爲88%，由以上結果可以初步驗證本分級機構應用在梅子分級的可行性。

表 6. 平均分級純度與分級效率

Table 6. Average purity index and sorting efficiency.

		Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average
Test A	P_w	79.0%	68.7%	76.8%	74.83%
	E_w	77.1%	58.7%	76.5%	70.77%
Test B	P_w	86.9%	93.1%	84.1%	88.03%
	E_w	86.4%	92.7%	84.7%	87.93%
Test C	P_w	82.2%	79.5%	69.9%	77.20%
	E_w	82.3%	77.6%	70.1%	76.67%

由先前的理論推導，分級板的尺寸（圖 3 之 a,b,c）對板間間隙大小影響甚鉅。因此分別量取64片分級板的 a,b,c 值：a 平均爲11.886mm、標準差0.248mm；b 平均爲40.273mm、標準差0.461 mm；c 平均爲11.766mm、標準差0.168mm。若假設分級板的主要尺寸爲常態分佈，代入(3)或(4)式，則分級板間隙(d)則會因此而產生大約 2mm 的誤差，造成分級純度下降。故在實際組裝分級機構時，也特別剔除不符尺寸公差要求的分級板，以提高分級機構的分級效率與分級純度。

經過多次在水里現場操作，一袋約 40kg 的梅子在五分鐘左右分級完畢最適，否則進料流量過大時易產生阻塞、挾帶的現象；流量過小時則不符經濟效益。換算結果，分級能量約爲 500kg/hr，足以應付索引式振動採收機的收穫量。

本分級機構的特色爲：採用靜置式的分級方式，果實於分級作業中與分級機構碰撞機會減少；另外只要調整導板高度及角度，亦可適用於類球形或橢球形小型果類的分級作業。若加強進料時的整型，使大部份水果以等效粒徑等於分級板間隙的姿態通過，以及控制分級板的製造精度，預料將可改進本大小分級機構的分級效率與分級純度。

引用文獻

1. 臺灣農家要覽。789～794頁。豐年社。臺北。
2. 劉昆揚。1982。坡地果園振動採收機之研究(三)索引式振動採收機之研究。農業工程學報28(3)：60～64。
3. Liu, Kun-Yang. 1984. A study on shaker design for harvesting tree fruit on slopeland. Compiling special report on slopeland mechanization. 23 pages.
4. Mohsenin, Nuri. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Material. pp.697～710. Gordon and Breach Sreach Science Publishers, Inc.
5. Peleg, K. 1985. Produce Handling, Packing and Distrbution. pp.53～87. The AVI. Publishing Co.

46-2-8

Design and Analysis of Grading Mechanism for Plum Sizing Machine[1]

Chih-Kai Yang[2] and Kun-Yang Liu[3]

Summary

The purpose of this study is to design a grading mechanism which is constructed by roller chain, sizing plates and guide plate. Sizing plates are linked to roller chain, the other side is sliding against guide plate. The opening between sizing plates is increasing as roller chain moving. Fruits enter grading mechanism and lie on gaps between sizing plates. When roller chain moves to proper position at which the opening is large enough, then smaller fruits will drop into bin through gap between sizing plates. Later, the larger fruits drop into different bin, and grading procedure is accomplished.

The main dimensions of samples of plum from Shuili town in Nantou county were measured. Averaged short-diameter is 26.79mm, long-diameter is 28.73mm, length is 30.12 mm and weight is 13.9g. According to the investigation, we decide main parameters of grading mechanism. Using the relationship between short-diameter and weight, we calculate the sorting indices after grading experiments, and find sorting efficiency is 88% and sorting purity is 88%, when two-grades is achieved; sorting efficiency is 74% and sorting purity is 76%, when three-grades is achieved.

Key words : Sizing, Plum.

1. Contribution No. 1912 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Assistant, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufang, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.

中華農業研究

第四十六卷　　第三期

中華民國八十六年九月出版

發行人：林俊義

總編輯：廖慶樑

編審委員：

農藝組：盧煌勝（主審）
王強生　呂秀英　郭益全　陳一心
楊純明　劉大江　劉新裕　蔡新聲

園藝組：蕭吉雄（主審）
王德男　林昭雄　施昭彰　徐信次
劉政道　歐錫坤

農化組：林木連（主審）
王鐘和　吳繼光　郭鴻裕　劉慧瑛

植病組：彭金騰（主審）
王惠亮　安寶貞　林正忠　張清安
程永雄　蔡武雄

昆蟲組：羅幹成（主審）
王清玲　何琦琛　周樑鎰　陳炳輝
陳健忠　鄭允　鄭清煥

農機組：梁連勝（主審）
黃禮棟　賴建洲

另聘請農業評議委員或各大學院校有關學者專家擔任審查委員。

Vol. 46, No. 3 Sep. 1997

JOURNAL OF
AGRICULTURAL RESEARCH OF CHINA

PUBLISHER : Director, Chien-Yih Lin

EDITOR IN CHIEF : Ching-Liang Liaw

EDITORIAL BOARD :

Chi-Hsiung Hsiao (Horticulture)
Mu-Lien Lin (Agri. Chemistry)
Lien-Sheng Liang (Agri. Engineering)
Kang-Chen Lo (Applied Zoology)
Hung-Shung Lu (Agronomy)
Jin-Torng Peng (Plant Pathology)

EDITORIAL ADVISORY BOARD :

Pao-Jin Ann	Chin-An Chang	Bing-Huei Chen
Chien-Chung Chen	Yi-Shin Chen	Ching-Huan Cheng
Edward Yun Cheng	Yung-Hsiung Cheng	Liang-Yih Chou
Horng-Yuh Guo	Chyi-Chen Ho	Hsin-Tszu Hsu
Li-Duhng Huarng	Yih-Chuan Kuo	Chien-Chou Lai
Cheng-Chung Lin	Chao-Hsiung Lin	Tsung-Dao Liou
Dah-Jiang Liu	Huey-Ing Liu	Sin-Yie Liu
Hsiu-Ying Lu	Shyi-Kuan Ou	Jau-Chang Shih
Wu-Hsiung Tsai	Hsin-Sheng Tsay	Chan-Sen Wang
Chin-Liang Wang	Chong-Ho Wang	Der-Nung Wang
Hui-Liang Wang	Chi-Guang Wu	Chwen-Ming Yang

Reviewers of Related Fields are Invited from Universities, other Research Organizations, and the Evaluation Committee of Agricultural Researches, Taiwan Provincial Department of Agriculture and Forestry.

統一編號
030853860049

Vol. 46, No. 3 Sep. 1997

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH OF CHINA

(Formerly Journal of Taiwan Agricultural Research)

CONTENTS

In Vitro Culture of Immature F_1 Embryos of *Oryza sativa* × *O. Officinalis* …Shu-Fung Lo, Yi-Shin Chen, Cheng-Chang Li and Hsin-Sheng Tsay…207

Growth and Yield Responses of Rice to Acid Rain. I. Sensitivity to Composition and pH of Simulated Acidic Medium ……Chwen-Ming Yang…216

Studies on the Tillering Behavior and Above Ground Fresh Weight of Maize and Perennial Diploid Teosinte and Their Progenies ……Guang-Jauh Shieh, Chan-Lee Ho and Hung-Shung Lu…228

Studies on the Tillering Behavior and Above Ground Fresh Weight of Maize and Annul Diploid Teosinte and Their Progenies ……Guang-Jauh Shieh, Chan-Lee Ho and Hung-Shung Lu…241

Production Improvement of Yam Variety Tainung No. 2 ……Sin-Yie Liu, Torng-Wu Chang, Jau-Jueh Wang, Yuen-Tien Shyu and Min-Fu Hu…249

Seasonal Variation in Leaf Area Index Dynamics for Wetland Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] ……Lit-Fu Chan, Chun-Tang Lu and Hsiu-Ying Lu…262

Studies on Export Suitability of Five Different Carambola Cultivars ……Tzu-Ching Wang, Ching-Chang Shiesh and Der-Soon Lin…278

Design and Analysis of Grading Mechanism for Plum Sizing Machine ……Chin-Kai Yang and Kun-Yang Liu…294

Published by
THE TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE
Taichung, Taiwan, Republic of China

行政院新聞局出版事業登記證局版臺誌字第二一九八號
中華郵政中臺字第○三○九號登記為雜誌交寄